Lane Medical Library

Vergleich

von

Ludwigs Kymographen

mit

Hürthles Tonographen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

der

Hohen medicinischen Facultät der Universität Bern

vorgelegt von

Ludmilla Schilina

aus Krassnojarsk (Ostsibirien).

München.

Druck von R. Oldenbourg.

1899.

Vergleich

von

Ludwigs Kymographen

mit

Hürthles Tonographen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

der

Hohen medicinischen Facultät der Universität Bern

vorgelegt von

Ludmilla Schilina

aus Krassnojarsk (Ostsibirien).

Aus der Zeitschrift für Biologie, Bd. 38, S. 433.

München.

Druck von R. Oldenbourg.

1899.

ETIENNE, JULES MAREY

dem Meister der graphischen Methodik

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153505_0095

(Aus dem physiologischen Institute der Universität Bern.)

»Um mit Hilfe des Poiseuille'schen Manometers unter allen Umständen genau Druckhöhen und ihre Zeitdauer zu bestimmen, setzt man auf die freie Quecksilbersäule einen stabförmigen Schwimmer, — versieht diesen am oberen Ende mit einer Feder, und lässt durch sie die Schwankungen auf eine Fläche zeichnen, welche sich mit stetiger Geschwindigkeit an der Feder vorbei bewegt. Auf diese Weise erhält man Curven, welche allen Anforderungen entsprechen.«[1]) So beschrieb C. Ludwig sein Kymographion.

K. Vierordt[2]) erklärte den Kymographen für einen fehlerhaften Apparat. Er sagt: »Die freie Communication des Quecksilbers des Dynamometers mit dem Blute in der eröffneten Ader und mittelbar in dem gesammten Arteriensystem muss mit Nothwendigkeit durch Interferenz der wahren Blutwellen mit den Eigenschwingungen des Quecksilbers Fehler einführen; diese werden gering, ja selbst gar nicht vorhanden sein in Fällen eines gleichmässigen ruhigen Pulsganges, sie müssen sich in hohem Grade geltend machen in den noch häufigeren Fällen von bedeutenderen Ungleichheiten der einzelnen Pulse und beim Vorhandensein starker und kurzer Respirationswellen. Dann muss das eigenwillig schwingende Quecksilber des Apparates selbst von Einfluss auf die Pulsationen und Blutdrücke entfernteren

1) C. Ludwig, Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensystem. J. Müller's Arch. 1847, S. 261.

2) Vierordt, Die Lehre vom Arterienpuls. 1855, S. 10.

Arterien werden, indem von dem Apparat aus eine ganze Menge neuer, durch das Gefässsystem des Thieres laufender Wellen erregt werden müssen.« . . . . . »Es versteht sich von selbst, dass in den Fällen, wo die einzelnen Pulswellen Fehler bieten, von Ludwig's Instrument nicht einmal das Minimum seiner Leistung zu erwarten ist, nämlich die genaue Angabe des mittleren Seitendruckes.«

Redtenbacher, Professor des Maschinenbaues gab seinem Freunde Vierordt folgendes Gutachten »über das Pulsmanometer mit schwingender Flüssigkeit«: »Die Curven, welche das Pulsmanometer liefert, stellen zunächst nur allein das Gesetz dar, nach welchem die Schwingungen der im Manometer befindlichen Flüssigkeit vor sich gehen. Diese Schwingungen sind aber das Resultat zweier Ursachen: die eine derselben liegt in der Masse der Flüssigkeit, die andere in der Einwirkung des mit variabler Intensität wirkenden Pulses. Die Manometercurven sind also nicht der Ausdruck des Gesetzes, nach welchem die Pulsbewegungen erfolgen. Das Instrument ist kein Pantograph, der mit gewissenhafter Treue die Einwirkungen wiedergibt; es ist ein träger Phlegmaticus, der zwar einen Rippenstoss spürt, aber im Ganzen doch seinen bequemen Weg verfolgt.«

Aus seiner Berechnung der Apparatangaben schliesst Redtenbacher: »Immer sieht man, dass die Curven, welche das Instrument verzeichnet, von denjenigen, welche dem Pulsgang entsprechen, — so bedeutend abweichen, dass es durchaus nicht erlaubt sein kann, aus den »Pulscurven« auf die Gesetze des Pulsganges einen Schluss zu ziehen.«[1])

Vierordt glaubt, »einen beachtenswerthen Vorzug des Sphygmographen darin zu erkennen, dass wir mittelst desselben den Puls nicht nur unter verschiedenen äusseren Bedingungen (Belastungen u. s. w.) untersuchen, sondern auch aus dem in Folge äusserer Umstände anomal gewordenen Pulsbilde, da die Bedingungen des Versuches gegeben sind, auf den wirklichen Pulsgang schliessen können.«

---

1) Vierordt, Die Lehre vom Arterienpuls. 1855, S. 10, 12, 14 u. 32.

»Beschwert man den Puls zu sehr, so erhält man Nachschläge, gleich jenen Figuren, die Ludwig als Pulsus dicrotus ausgeben wollte. Dasselbe ist aber auch der Fall, wenn der Applicationspunkt des Pulses einen zu geringen Druck ausübt.«[1])

Vierordt gibt in seiner Figur 10 »den Puls eines Gesunden bei richtiger Belastung« wieder; der zeigt hohe einfache Wellen ohne den dikrotischen Nachschlag, welchen wir jetzt aus den Zeichnungen der besten nach Marey's Princip gebauten Sphygmographen kennen. Vierordt suchte mittels seines Sphygmographen »die Kraft des Pulses« zu messen.

Er sagt:[2]) »Je grösser die in Millimetern ausgedrückte Hubhöhe (Pulsgrösse), und je grösser das gehobene Gewicht, desto grösser ist die Arbeit der Pulswelle.«

»Die Area des die Arterie drückenden Plättchens beträgt rund 12 qmm. Die Pulswelle hebt durchschnittlich ein Gewicht von 40 g um 0,23 mm; wir hätten also eine Arbeit von 9,2 grammmillimeter.« Er versuchte danach die Arbeit des linken Herzens zu berechnen, indem er für den Blutvorrath in den pulsirenden Theilen des Arteriensystems 2 kg annimmt und »was allerdings kaum annäherungsweise möglich ist, die Area der Wandungen aller pulsirenden Arterien schätzt, so ergäbe sich unter Zugrundelegung des obigen Arbeitswerthes,[3]) eine Leistung der vom linken Herzen übergeworfenen Blutwelle, welche von unserer, auf anderweitigen Prämissen fussender Berechnung der mechanischen Leistung des linken Ventrikels nicht gar zu weit entfernt ist.«

Knapp ein Jahr nach der Vierordt'schen Lehre vom Arterienpulse erschien der II. Band von C. Ludwig's »Lehrbuch der Physiologie des Menschen.« Darin erzählt er (S.85) ohne auf Vierordt's und Redtenbacher's Angriffe zu antworten, in schlichter Weise, dass er für sein Kymographion das Poiseuille'sche Manometer verwendet habe, und dass seine Schreibvorrichtung »auf einem Princip beruhe, welches der berühmte Mechaniker Watt zuerst in Anwendung gebracht haben soll.«

1) a. a. O. S. 32.

2) a. a. O. S. 167.

3) Nach seiner früheren Schätzung beträgt die Secundenleistung der linken Herzkammer 0,3 kg M. a. a. O. S. 72.

Den Sphygmographen schildert er in folgenden Worten: »Man hat auch auf die Haut, welche ein sich ausdehnendes und dann wieder zusammenziehendes Gefäss bedeckt, den kurzen Arm eines Fühlhebels aufgesetzt (Vierordt), und die Excursion des Längeren beobachtet. Wollte man nun aus diesen Beobachtungen Schlüsse auf die in dem Gefäss wirksamen Spannungen ziehen, so dürfte man nicht vergessen: 1. dass die Ausdehnung eines Gefässes um denselben Werth durchaus nicht einen gleichen Zuwachs von der Spannung bedeutet;« ..... 2. dass »jede während des Versuches veränderte Spannung ... der das Gefäss bedeckenden Gebilde unabhängig von der Spannung des Blutes die Wirkung der Arterie auf das Instrument verändert;« 3. es dürfte »bei Anwendung des Fühlhebels schwer zu vermeiden sein, dass derselbe bei Erweiterung des Gefässes nicht so weit von der Haut abgeschleudert wird und bei dem Rückgange, je nach der Geschwindigkeit mehr oder weniger tief eingedrückt werde, so dass die wesentlichsten Ungenauigkeiten erzeugt werden«. Wenn sich somit dieses Instrument »als Mittel zur Vergleichung der Spannungen unbrauchbar erweist, so ist es dagegen werthvoll zur Bestimmung gewisser zeitlicher Veränderungen, z. B. des Abstandes zweier Pulsschläge von einander. Um diese Angaben zu gewinnen, genügt es, die Auf- und Abgänge des langen Hebelarmes auf einem mit bekannter Geschwindigkeit rotirenden Cylinder aufschreiben zu lassen.« (S. 109.)

»Der Druckschreiber (Kymographion) hat vor allen übrigen denkbaren Instrumenten den Vorzug, dass die Blutspannung durch eine Flüssigkeit gemessen wird; es muss bei der Gleichartigkeit des messenden und gemessenen Mediums die vollständigste Ausgleichung stattfinden, und es sind die Angaben des Messinstrumentes sogleich brauchbar, ohne irgend welchen Umsatz in ein anderes Maass erfahren zu müssen. — Aber trotz dieser Vorzüge ist das Instrument nicht vollkommen, weil es nicht im Stande ist, momentane Spannungsveränderungen des Blutes richtig anzugeben. Denn da das Princip der Messung eine Bewegung der Flüssigkeit in dem gebogenen Rohr verlangt, so müssen bei sehr raschen Spannungsänderungen in den Gefässen,

wie sie in der That beobachtet werden, Fälle eintreten: 1. in welchen die spannungsanzeigenden Excursionen im Manometer grösser sind als die Spannungen in den Gefässen selbst. Dieser Fall wird nur eintreten, wenn man die Spannungswechsel in den Arterien misst, weil er ein rasches und sehr beträchtliches Auf- und Absteigen des Druckes verlangt. In diesem Fall empfängt das Quecksilber des Manometers eine solche Beschleunigung, dass es über das verlangte Ziel hinausschiesst. 2. Die Excursionen des Instrumentes werden aber auch kleiner sein können als die des Gefässes; im Extreme muss sich dieses ereignen, wenn die Spannungen sich in der Zeit rasch in verschiedenem Sinne ändern, indem sie z. B. rasch aufsteigt, plötzlich aber wieder absteigt, wobei zugleich das Auf- und Absteigen einen beträchtlichen Weg zurücklegt. Da die Spannung zwischen Arterie und Manometer sich nur durch Einströmen von Blut ausgleichen kann und dieses Einströmen Zeit erfordert, so muss unter den beschriebenen Umständen die Zeit zur vollen Ausgleichung fehlen.«

»Kehrt nun aber, weil im Gefässsystem die Spannung wechselt, die Bewegung von oben nach unten um, so wird die Ausgleichung nach der entgegengesetzten Seite hin fehlerhaft sein, so dass das Instrument durch gegenseitige Aufhebung der Fehler das wahre Mittel der im Gefäss bestehenden Spannung angibt. Man kann indess durch mancherlei Hilfsmittel die Spannung eines Instrumentes und des Gefässes einander sehr nahe bringen. 3. Ein unvermeidlicher, aber an grösseren Thieren bis zum Unmerklichen herabzudrückender Fehler liegt in dem manometrischen Verfahren darum, weil die gemessene Stelle während der Messung in das Instrument Flüssigkeit gibt und aus ihm nimmt, sie spannt sich also, unabhängig von dem hinter und vor ihr gelegenen Blut, auf und ab. Aus diesem Grunde muss man die Dimension des Instrumentes nach denen des ab- und zuführenden Gefässes richten. 4. Die Zeit der Spannungsumänderung in dem Instrument und in dem Gefäss ist endlich nicht genau dieselbe, sondern es geht die Umkehr nach oben oder nach unten im Manometer des Beharrungsvermögens wegen, etwas

hinter der im Gefässe her; ausserdem ist aber der Zeit nach die Bewegung im Instrumente ein genauer Abdruck von der in dem Gefässe.«

In der zweiten Auflage seines Lehrbuches sagt Ludwig (Band II. S. 154): »Ueber die Spannung des menschlichen Blutes kann man, seltene Ausnahmen abgerechnet, nur Erfahrungen sammeln durch die Veränderungen, welche in Folge derselben die Gefässwandungen erleiden. — Hiezu bedient man sich am Schmucklosesten des Fingers, welcher den Widerstand schätzt, den ein Gefäss der Zusammenpressung entgegenstellt, oder auch der sichtbaren Ausdehnung und Farbenveränderung gewisser Gefässregionen.« . . . . .

»Weit vollkommener gelingt die Nachweisung wesentlicher Eigenschaften des Pulses durch den schreibenden Fühlhebel, Vierordt's »Sphygmographen«. (Fig. 45.)

»Eine Einrichtung ist Vierordt jedoch noch nicht gelungen, nämlich die Herstellung einer solchen Verbindung, dass in zwei verschiedenen Versuchen aus der Grösse des Hebelausschlages die Durchmesservermehrung der Arterie abgeleitet werden könnte. Unter vorsichtiger Benutzung in sachverständigen Händen, wird dieses Instrument ebensowohl den Zeitraum bestimmen, der zur Vollendung, sei es einer ganzen oder nur der auf- oder absteigenden Pulsbewegung, verbraucht wird, und unter Umständen auch die Abhängigkeit darstellen, in welcher das Wachsthum des Arteriendurchmessers zur Zeit steht. Dieses ist natürlich nicht gleichbedeutend mit dem Wachsthum des Blutdruckes, wegen der bekannten Eigenschaft der Arterienwand, sich nicht direkt proportional mit der steigenden Belastung auszudehnen, vorausgesetzt, dass diese letztere nur kürzere Zeit hindurch einwirkt. Aus diesen und anderen Gründen ist das Instrument auch nicht geeignet, relative oder absolute Angaben über den Blutdruck zu machen, vorausgesetzt, man wollte über die Angaben hinausgehen, dass einem grösseren Durchmesser der Arterie eine höhere Blutspannung entspreche als einem geringeren.«

»Zur Messung der Spannungen bei Thieren bedient man sich auch hier des Druckzeichners (Kymograph). Er hat vor allen

übrigen denkbaren Instrumenten den Vorzug, dass die Blutspannung durch eine Flüssigkeit gemessen wird, so dass die Angaben des Messinstrumentes sogleich brauchbar sind, ohne irgend welchen Umsatz in ein anderes Maass erfahren zu müssen.«

»Es müssen die Wandungen der Verbindungsröhre zwischen Blut und Quecksilber aus steifen Stoffen (Messing, Blei oder Zinn) gebaut und ihr Hohlraum durchaus nur mit tropfbarer Flüssigkeit gefüllt und somit alle Luftblasen vermieden sein. Der Vortheil, welchen diese Verbindungsart bietet, besteht darin, dass sich dann das Quecksilber nur insoweit bewegen kann, als Blut aus den Gefässröhren nachdringt oder dorthin ausweicht. Hierdurch wird aber offenbar die Bewegung des Quecksilbers mit allen den bewegungsverzehrenden Widerständen behaftet, welche sich dem Blutstrom selbst entgegenstellen.« (S. 156.) A. Fick hat in der ersten Auflage seines Lehrbuches: »Die Medicinische Physik«[1]) die Einwendungen von Vierordt und Redtenbacher gegen das Kymographion kritisch behandelt, in dem er hervorhebt, dass in Redtenbacher's Berechnung der Widerstand, den die Quecksilbersäule bei ihrer Bewegung im Manometer erleidet, unbeachtet geblieben ist. Es sei hier die von Seebeck als Grundlage für die Theorie des Mittönens aufgestellte Gleichung zu Grunde zu legen. Danach gerathe ein in regelmässig periodische Schwankungen versetztes Mobile allmählich in einen Oscillationszustand, dessen zeitlicher Verlauf den periodischen Veränderungen der Kraft genau parallel gehe — und dessen Oscillationsdauer der Dauer der Periode der Kraftschwankung gleich sei. »Je grösser der Widerstand ist, um so bälder stellt sich dieser regelmässige Oscillationszustand ein. Die Excursionsweiten des Mobiles sind um so grösser, je grösser die Kraftschwankungen und um so kleiner, je grösser der Widerstand ist. Das in die Arterie eingesetzte Manometer gibt somit für den zeitlichen Ablauf der Druckschwankungen ein absolutes, für die Grösse derselben wenigstens ein relatives Maass ab. Dass endlich der mittlere Druck in einem Gefässe durch das Manometer absolut gemessen werden kann, ist nie bezweifelt worden.«

1) Braunschweig 1858, S. 471.

Marey, der Meister der Graphik, sagt:

«Vierordt, combinant les idées de King et de Ludwig, construisit son Sphygmographe dans lequel un levier, mis en mouvement par les battements d'une artère, inscrit ses oscillations sur le cylindre tournant d'un kymographion. Dans le Spécimen des tracés fournis par le Sphygmographe de Vierordt, on voit que les mouvements de l'appareil consistaient en oscillations sensiblement isochrones, l'ascension et la descente étant semblables entre elles. Cependant, quand on explore le pouls avec le doigt, on s'aperçoit aisément que le battement de l'artère offre, en général, un caractère différent de celui qu'exprimerait le tracé ci-dessous. En effet, le soulèvement qu'éprouve le doigt est d'ordinaire assez brusque, tandis que l'affaissement du vaisseau est beaucoup plus lent; cette seconde période de la pulsation dure plus du double de la première. La différence entre la forme du tracé et la sensation tactile qu'on éprouve en explorant une artère m'avait rendu suspectes les indications de l'instrument de Vierordt: je pus bientôt me convaincre qu'il y avait une cause d'erreur dans la construction même du Sphygmographe. Dans l'instrument de Vierordt, le double levier, assez lourd par lui-même, est équilibré par un contrepoids, puis, une charge additionnelle sert à déprimer le vaisseau avec assez de force pour que la pulsation se manifeste. Il résulte de là que la masse à soulever est trop considérable, pour que la force du pouls la puisse déplacer instantanément; l'appareil, s'il reçoit une impulsion brusque, la traduira par un mouvement lent analogue à celui qu'exécuterait une balance dont les deux plateaux seraient très chargés et dont un des bras subirait une poussée légère. Dans cet instrument, comme dans les manomètres à mercure, la masse à mouvoir déforme par son inertie le mouvement qui lui est communiqué.« «Si le reproche que j'ai fait au Sphygmographe de Vierordt est fondé et si l'inertie de masses trop pesantes rend les indications de cet appareil défectueuses, il faut, pour remédier à cet inconvénient, diminuer énormément la masse à mouvoir et se rapprocher autant que possible du levier idéal, c'est-à-dire d'une tige rigide et sans pesanteur obéissant avec la

plus grande facilité à toutes les impulsions qu'elle recevrait, sans en modifier les caractères.«

»Pour cela, je prends un levier d'une légèreté extrême: il est fait de bois et d'acier très mince; ce levier est placé de telle sorte qu'il ait sa plus grande épaisseur dans le sens où se produisent ses mouvements, ce qui lui assure une grande rigidité en même temps qu'un faible poids. Mais on sait que le pouls ne se produit que si l'on déprime la paroi de l'artère, ce ne sera pas le poids de ce petit levier qui pourra atteindre ce résultat. Faudra-t-il, comme Vierordt, employer un poids additonnel? Ce serait perdre tout le bénéfice de la légèreté du levier et retomber dans l'inconvénient qu'il s'agit d'éviter. J'ai recouru, pour déprimer l'artère, à l'emploi d'un ressort élastique, c'est la modification essentielle, car en supprimant l'inertie de l'instrument, elle en change entièrement les indications[1].«

Marey hat seinen Sphygmographen im Jahre 1856 erfunden[2] und Jahrzehnte lang auf ingeniöse Weise vervollkommnet, so dass dieser Apparat als diagnostisches Hilfsmittel nicht nur in den Kliniken, sondern auch bei den Aerzten sich eingebürgert hat, um die abnormen Formen der Pulse von den normalen zu unterscheiden; auch die meisten Bezeichnungen, wie anakrot, katakrot, dikrot u. s. w. zur Charakterisirung der Curven rühren von ihm her.

Mach verbesserte später den Marey'schen Sphygmographen[3], indem er die Pelotte mit dem Schreibhebel mittels Charniergelenken durch ein Messingstäbchen verband.

Béhier brachte eine Scala an, an welcher man den Druck ablesen kann, den die Feder auf die Arterie ausübte[4].

Burdon-Sanderson modificirte diese Einrichtung der Art, dass er im Stande war, damit die Aenderungen des mittleren Arteriendruckes zu schätzen (appreciating)[5].

1) La circulation du Sang. Paris, Masson 1881, Pp. 209, 212.

2) J. Marey, Recherches sur la circulation du Sang. Compt. rend. 1856.

3) Mach, Ueber eine neue Einrichtung des Pulswellenzeichners. Sitzungsber. der k. k. Akad. d. Wiss. zu Wien 1863, Bd. 47, II. Abth.

4) Description de modifications au Sphygmographe. Bull. de l'académie de médicine 1868, t. XXXIII p. 176.

5) Handbook for the Physiological laboratory. London 1873, p. 220.

N. v. Kries[1]) hat auf Ludwig's Rath die Spannung menschlicher Hautcapillaren durch den Gewichtsdruck gemessen, der erforderlich ist, an der betreffenden Stelle die Haut blass zu machen. »Der niedrigste Druck, bei welchem die unter dem Glasplättchen befindliche Hautstelle weiss erschien, wurde notirt« (S. 149).

Marey[2]) sagt über Blutdruckmessung mittels Sphygmographen:

«N'y a-t-il pas moyen de graduer les indications du Sphygmographe? Ne peut-on pas savoir quel est le degré réel de la pression du sang dans les artères d'un homme?« . . . »Plusieurs médecins praticiens firent construire des vis graduées destinées à exprimer le degré de tension qu'elles donnent au ressort et, d'après ces degrés, croyaient mesurer la pression du sang. Ces tentatives ne peuvent donner aucun résultat. En effet, l'effort que le sang exerce contre le ressort de l'instrument ne tient pas seulement à l'intensité de la pression à laquelle le sang est soumit à l'intérieur du vaisseau, il tient encore à l'étendue de la paroi vasculaire sur laquelle agit cette pression sanguine, c'est-à-dire à la grosseur du vaisseau exploré.»

In drastischer Form fährt Marey fort: «C'est ainsi que les deux radiales d'un même sujet, explorées toutes deux au même instant, peuvent ne pas nécessiter la même pression du ressort du Sphygmographe: les deux radiales peuvent en effet avoir un calibre différent. Est-ce à dire que la pression n'est pas égale dans toutes deux? Et si un anévrisme résiste à une contre-pression de plusieurs kilogrammes, tandis que 100 grammes suffisent à aplatir l'artère radiale du sujet porteur de la tumeur, est-ce-à-dire que la pression du sang est plus grande dans la poche que dans le vaisseau?» (p. 212.)

Waldenburg[3]) hat Vierordt's sphygmographische Blutdruckmessung mittels seiner »Pulsuhr« zu vervollkommnen

1) Arbeiten aus d. physiol. Anstalt zu Leipzig 1875. N. v. Kries, Ueber den Druck in den Capillaren der menschl. Haut, S. 69.

2) Travaux du laboratoire 1876, p. 210.

3) Die Messung des Pulses u. des Blutdrucks am Menschen. Berlin 1880.

gesucht. Er glaubte eine sehr hohe »Wandspannung« (abgesehen vom Blutdrucke), auch der freigelegten Arterie, annehmen zu müssen; nach Angaben seiner Pulsuhr berechnet er dieselbe an der Art. Cruralis eines Hundes (S.194) auf 160 g (d. h. 294,4 mm Hg), während v. Basch[1]) nach Bestimmungen von Christiani und Kronecker einen Ueberdruck von wenigen Millimetern Wasser auf die Aussenwand einer Arterie hinreichend fand, dessen Lumen undurchgängig zu machen (S. 281). Eine Art. radialis aus frischer menschlicher Leiche wurde durch 1,5—2 mm Hg Druck comprimirt; eine sklerosirte Radialarterie bedurfte nur bis 5 mm Hg Druck, um undurchgängig zu werden; ein Kautschukschlauch von 0,5 mm Wandstärke musste dagegen mit einer Säule von 147 mm Hg belastet werden, damit Wasser, das unter einem Drucke von wenigen Centimetern hineingeleitet wurde, nicht mehr durchfloss. So erklärten sich die Annahmen von Waldenburg, der die Wandstarre der Arterien nicht direct gemessen hat, sondern annahm, dass sie Gummirohren gleicher Wandstärke entspräche.

Poiseuille hat schon im Jahre 1829 die Erweiterungen der Carotis des Pferdes bei jedem Herzschlage mittels seines Pulskästchens (eine Art Volummesser) nachgewiesen[2]).

Hierzu musste ein Stück Arterie freigelegt werden.

Den ersten Pulsmesser, welcher einer unverletzten oberflächlichen Arterie angelegt werden kann, scheint Hérisson[3]) angewendet zu haben. Sein »Sphygmometer« bestand aus einer Glasröhre mit Millimetertheilung, welche in eine metallene Halbkugel mündete, auf deren äquatoriale Oeffnung eine Pergamentmembran gebunden war; Halbkugel und Röhre waren mit Quecksilber gefüllt, welches bei jedem Drucke (auf die Membran) stieg. So zeigte der Apparat den Puls an.

---

1) du Bois-Reymond's Archiv 1880, S. 179.

2) Poiseuille, Recherches sur l'action des artères dans la circulation arterielle. Journ. de Phys. de Magendie 1829, t. IX p. 46, pl. Milne Edwards Physiologie IV, S. 178.

3) Hérisson, Le sphygmomètre, instrument qui traduit à l'oeil toute l'action des artères. Mémoire présenté à l'Institut, 1834. Vergl. Marey, Circulation du sang, p. 208, und Landois, Arterienpuls, S. 35.

Marey hat, wie er in den Arbeiten seines Laboratorium vom Jahre 1876 (S. 313) angibt, schon 1856 einen Apparat construiren lassen, um den Arterienblutdruck im Vorderarme eines Menschen zu messen (s. S. 317), indem er durch Wasser den Arm im Kasten immer stärker comprimirte, bis die mittels eines Metallmanometers auf eine Luftkapsel übertragenen Pulsschwankungen verschwanden.

Roy und Graham Brown[1]) haben den Blutdruck in Arterien, Capillaren und Venen der Froschschwimmhaut in ähnlicher Weise wie Marey bestimmt, aber nach Hérisson's Princip eine feine Membran (Goldschlägerhaut) zwischen die comprimirte Luft und das Gewebe eingeschaltet, so dass jeder Körpertheil, ohne in ein Gefäss hermetisch eingeschlossen zu werden, messbar comprimirt werden kann.

S. v. Basch hat nach Combination dieser Principien sein viel verwendetes Sphygmomanometer construirt[2]). Dasselbe besteht im Wesentlichen aus einer Gummipelotte, welche mit Wasser gefüllt ist, das auf eine damit communicirende Quecksilbersäule drücken kann. Die Pelotte wird immer stärker auf die Radialis gedrückt, bis der Puls jenseits der gedrückten Stelle nicht mehr fühlbar ist. Die Grenzhöhe der Quecksilbersäule gibt den zur Zeit herrschenden Blutdruck in der Radialis an. In späterer Modification setzte v. Basch an die Stelle der Quecksilbersäule ein elastisches Metallmanometer mit angehängtem Gummischlauche, der in eine Kapselpelotte ausläuft; das System wird mit Wasser gefüllt.

Die Angaben dieses Apparates sind nicht so zuverlässig wie die des früheren. Der hydrostatische Druck in dem Wasserrohre ändert sich mit der Lage des Manometers und die Scala des im hiesigen Institute geprüften Manometers mit nebengeschaltetem Quecksilbermanometer ist unrichtig geworden.

Talma[3]) hat im Jahre 1880 ein »Tonometer« beschrieben, welches, auf die freigelegte Arterie gedrückt, den Blutdruck

1) The Journal of Physiol. V. 2. 1879--80, S. 323.

2) v. Basch, Ueber die Messung des Blutdruckes am Menschen. Zeitschrift f. klin. Medicin Bd. 2 H. 1; du Bois-Reymond's Arch. 1880, S 178.

3) Pflüger's Archiv Bd. 23 S. 224.

verzeichnen sollte; auch hier wurde, wie bei Burdon-Sanderson, die Belastung in Gramm bestimmt, welche die Sphygmographenfeder bei bestimmter Verbiegung ausübte, und der hydrostatische Druck berechnet.

Schon Rollet[1]) deutete an, dass man mittels eines Sphygmographen, dessen Pelotte »auf einer völlig blossgelegten« und auf einer festen Unterlage befindlichen Arterie aufgesetzt wird, den Blutdruck bestimmen könne.

Hirschmann hat unter Hürthle's Leitung solche Messungen ausgeführt.

Rudolf Magnus[2]) hat auf Anregung von W. Kühne seinen sehr einfachen Tonographen construirt, der auf dem eben beschriebenen Principe der messbaren Compression der freigelegten Arterie beruht, und welcher ähnliche Blutdruckcurven liefert wie die besten »Tonographen«.

Elastische Manometer.

Marey gibt in seiner »Méthode graphique dans les sciences expérimentales«, Paris 1878, eine geschichtliche Uebersicht der Methoden, durch Luftübertragung Bewegungen zu verzeichnen. Er erzählt u. A.: »Upham, de Boston, avait essayé, par un semblable moyen, de transmettre à des sonneries électriques les mouvements extérieurs du coeur: le physiologiste américain expérimenta sur un jeune médicin, Groux, atteint d'une division congénitale du sternum et chez lequel on sent les battements du coeur très-superficiellement, puisque les téguments seuls le recouvrent en certains points. On voit la figure de l'appareil du docteur Upham dans une brochure publiée par M. Groux[3]).« (p. 445.)

»L'idée de transmettre un mouvement à distance au moyen de tubes pleins d'air appartient à Ch. Buisson.«

---

1) Hermann's Handb. d. Physiol. Bd. 4 Abth. 1, 1880, S. 298.

2) Diese Zeitschr. 1896, Bd. 33 S. 178.

3) Fissura sterni congenita. New observ. and experim. 2e edition, Hamburg 1859.

»En 1858, nous avions essayé d'obtenir cette transmission à l'aide d'un tube de plomb muni à ses extrémités d'ampoules de caoutchouc; mais cet appareil était rempli d'eau au lieu d'air.«

»Lorsqu'une de ces ampoules était introduite dans le coeur par la veine jugulaire, il fallait qu'une force considérable les comprimât pour que la colonne liquide, contenue dans le tube, entrât en mouvement et que le levier enregistreur fût soulevé. Le ventricule seul pouvait produire cet effet, tandis que l'action de l'oreillette ne donnait lieu à aucun mouvement de levier que lui correspondait.«

»En 1860, Buisson imagina un moyen de transmettre au Sphygmographe, que nous venions de présenter à l'Académie des Sciences, les battements de différentes artères sur lesquelles notre instrument ne serait pas applicable. A cet effet, ce physiologiste se servait de deux entonnoirs conjugués dont un tube de caoutchouc réunissait les becs, comme je réunissait les ampoules de caoutchouc pleines d'eau au moyen d'un tube de plomb. Le pavillon de chacun de ces entonnoirs était recouvert d'une membrane élastique, comme cela se voit dans un appareil connu sous le nom de Sphygmomètre d'Hérisson.«

»Il résultait de cette disposition que, si l'on exerçait une pression sur la membrane de l'un des entonnoirs, la membrane de l'autre se soulevait par la compression de l'air contenu dans l'appareil. Buisson adaptait à cette seconde membrane un disque léger surmonté d'une arête qui soulevait le levier d'un Sphygmographe.«

»Si l'on appliquait sur une artère la membrane du premier entonnoir, les battements du vaisseau se transmettaient au levier qui les enregistrait.» (p. 455.)

Chauveau und Marey[1]) haben im Jahre 1861 bei Pferden untersucht, ob der Herzstoss mit der Systole der Vorhöfe oder mit derjenigen der Ventrikel zusammenfalle. Sie bedienten sich dazu Gummikatheter, welche an ihren Enden eine durchbrochene Metallhülse trugen, die von je einer Gummimembran gedeckt

1) Quelques recherches sur la circulation du Sang à l'aide d'appareils enregistreurs. Paris 1862.

waren. Dickwandige Kautschukröhren verbanden diese Luftpelotten mit Schreibkapseln, die gleichfalls, wie das ganze System, durch eine seitliche Ansatzröhre beliebig mit Luft aufgeblasen werden konnten.

Marey hat gleich danach als elastischen Manometer einfachster Art eine Gummifingerkappe benützt, welche er mittels eines durchbohrten Gummistöpsels aufspannte; durch die Bohrung stellte ein Glasröhrchen die Verbindung mit der Arterie eines lebenden Thieres her, nachdem Fingerkappe und Leitungsröhre mit gerinnungsverhütender Flüssigkeit gefüllt waren; über den Finger wurde ein weites Glasrohr gedichtet, dessen zweite Mündung ein Kautschukstöpsel mit Röhrchenansatz deckte[1]).

Er zeigte bald darauf[2]), dass, wenn man auf der Aussenseite des Gummifingers einen Wasserdruck wirken lässt, welcher gleich dem inneren Blutdrucke ist, die Pulsschwankungen im äusseren Wassermanometer am grössten werden.

Nach analogem Principe hat A. Mosso sein sehr handliches und elegantes Sphygmomanometer construirt[3]). Der Druckmesser war nach dem Vorbilde der Anaëroidbarometer gebaut.

Landois[4]) construirte wieder nach dem alten Vierordtschen Muster seinen Angiographen, und meint, »er habe es vollkommen in der Hand, den Grad der Belastung zu wählen, bei welchem die Pulsation am deutlichsten und correctesten registrirt wird. Diesen Grad lernt man nach verschiedenen Uebungen und Versuchen bald mit Sicherheit eruiren.«

Bezüglich des Marey'schen Sphygmographen sagt er[5]): »Mir kam es weniger auf die Bequemlichkeit der Handhabung, als auf ein den wissenschaftlichen Anforderungen genügendes Instrument an, und das glaube ich construirt zu haben.« »Die Pulscurven des menschlichen Körpers gibt der Angiograph sehr ähnlich den Marey'schen Curven an mit den erwähnten Ab-

1) Travaux du laborat. 1876, S. 197.
2) a. a. O. S. 311.
3) Arch. ital. de Biol. 1895, t. XXIII p. 177.
4) Die Lehre vom Arterienpuls. Berlin 1872, S. 72.
5) a. a. O. S. 73.

weichungen, die lediglich in der Construction des Instrumentes beruhen.«

Auch Sommerbrodt[1]) war durchdrungen vom hohen Werthe der von Vierordt zuerst versuchten, von Landois geforderten Methode: unter Belastung der Arterie deren Bewegung auf einen Hebel zu übertragen, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, bei jedesmaligem Gebrauch durchaus mit bekannten und genau bestimmbaren Grössen zu rechnen.

Er fand Angiographen für Versuche am Menschen unbrauchbar.

Er sagt[2]): »Ich habe mich deshalb bemüht, mit Wahrung der erwiesenen Vorzüge des Angiographen, besonders mit Beibehaltung des Schreibhebels mit senkrechtem Auf- und Niedergehen, übrigens unter Einführung noch grösserer Vereinfachung des Apparates, einen praktischen Sphygmographen herzustellen. Der in Nachstehendem beschriebene bietet, wie mir scheint, alle Vortheile der bisher gekannten Apparate, ist denselben aber und besonders dem Marey'schen Sphygmographen unzweifelhaft überlegen, ganz abgesehen von seinem Werthe, wenn es sich um vergleichende Feststellungen zu verschiedenen Zeiten handelt.«

Sommerbrodt beobachtete im aufsteigenden Schenkel seiner Sphygmogramme »ein oder zwei, mehr oder minder deutliche Wellenberge und Thäler als graphischen Ausdruck der Oscillationen, unter denen sich die elastische Gefässwand ausdehnt« (S. 23).

A. Fick hat das Burdon'sche Federmanometer zu einem sehr vollkommenen Federkymographion einrichten lassen[3]). »Es besteht aus einer bandartig gestalteten hohlen Feder von dünnem Messing- oder Neusilberblech, die in Form eines fast die ganze Peripherie ausmachenden Kreisabschnittes zusammengebogen ist. Bekanntlich sucht sich eine solche Feder, wenn in ihrem Innern der Druck steigt, gerader zu strecken. Ist also ihr eines Ende

1) Ein neuer Sphygmograph und neue Beobachtungen an den Pulscurven der Radialarterie 1876, S. 1.

2) a. a. O. S. 2.

3) Medic. Physik. 2. Aufl. 1866, S. 134.

fest, das andere frei, so macht dieses kleine Bewegungen, wenn der Druck im Inneren der Feder steigt. Das Innere der Feder in meinem Instrumente ist mit Alkohol gefüllt. Zur Wahl dieser Flüssigkeit bestimmte mich lediglich die Leichtigkeit, dieselbe hinein zu bringen. . . .« »Um auch die kleinsten Reste von Eigenschwingungen fortzuschaffen, verbindet man mit dem Hebelwerk in passender Weise ein kleines Papierblättchen, das gezwungen ist, in Oel zu gehen«.

Später (1885) gab Fick dem »Federkymographion« eine andere Gestalt[1]). »Dem schwankenden Drucke des Blutes wirkt hier die Elasticität eines Stahlstreifens entgegen, der so stark federt, dass er bei grössten vorkommenden Druckschwankungen nur sehr wenig gebogen wird. Seine kleinen, kaum sichtbaren Bewegungen werden dann durch einen Fühlhebel von sehr geringer Masse vergrössert. Eine Hauptverbesserung besteht aber noch darin, dass auch die träge Masse der wässerigen Flüssigkeit vermieden ist, welche sonst bei den Wellenzeichnern die unerlässlichen Verbindungsröhren zwischen der manometrischen Vorrichtung und der Arterie erfüllt. Diese Verbindungsröhre ist in dem neuen Apparate mit Luft gefüllt. Sie muss deshalb natürlich sehr eng sein, damit die Zusammendrückbarkeit der Luft keinen grossen Fehler einführt.« (S. 152.)

Neuerdings füllt Fick, dem Vorschlage Hürthle's folgend die Verbindungsstücke mit Flüssigkeit.[2])

Auf dem von Fick eingeführten Principe beruhen die neueren Tonographen.

Zwischen Hürthle und von Frey wurde mit literarischen und experimentellen Waffen ein längerer Streit darüber geführt, ob die Pulswellen durch Wasser oder durch Luft richtiger übertragen werden.

Hürthle hat die Flüssigkeitsverschiebung im Manometer auf das kleinstmögliche Maass zu beschränken gesucht.

In dem letzten seiner (11.) »Beiträge zur Hämodynamik« vergleicht er sein neues, nach dem Muster von Roy construirtes

1) Medic. Physik. 3. Aufl. 1885, S. 152.

2) Schenck, Physiol. Practicum. 1895, S. 263.

Torsionsmanometer mit dem in verkleinertem Maassstabe hergestellten Burdon-Fick'schen Federmanometer und fand, obwohl die Form dieser zwei Apparate ganz verschieden ist, dass beide unter gleichen Umständen gleiche Sphygmogramme liefern, weil »das Princip der kleinstmöglichen Flüssigkeitsverschiebung beiden gemeinschaftlich ist.«

Die Veränderungen der Blutwellenschreiber geschahen zum Theil auf Grund praktischer Erfahrung, zum Theil auf Grund theoretischer Betrachtung.

A. Fick[1]) gibt in der 3. Auflage seiner medicinischen Physik folgende Auseinandersetzung: »Was die Dauer der Schwingungsperiode betrifft, kann man sich also auf die Angaben jedes Wellenzeichners verlassen. Anders ist es dagegen mit dem Rhythmus der Kraftänderung innerhalb der einzelnen Periode, d. h. mit der Art und Weise wie die Aenderung innerhalb einer Periode vor sich geht, ob z. B. die Kraft rasch zu- und langsam abnimmt oder umgekehrt u. s. w. Dieser Rhythmus kann von keinem Wellenzeichner ganz treu wiedergegeben werden, auch der Betrag der Kraftänderung, d. h. die Höhe der Wellen oder zwischen welchen Maximis und Minimis der Werth der Kraft schwankt, kann nur unter besonderen Umständen vom Wellenzeichner vollkommen treu registrirt werden.«

»Es lässt sich aber angeben, welche Bedingungen der Treue des Instrumentes günstig sind. Vor Allem ist das Eine, auch schon ohne mathematische Deduction, ersichtlich, dass die selbständigen Schwingungen der Masse um so mehr in den Hintergrund treten werden; je kleiner diese Masse ist, um so schneller nämlich werden die selbständigen Schwingungen durch die nie fehlenden Widerstände zum Verschwinden gebracht.«

Auf Grund solcher Betrachtungen hat Fick sein oben erwähntes Federkymographion construirt.

E. v. Cyon betont in seiner »Methodik der physiologischen Experimente« (1876 S. 113), dass der Widerspruch in

1) 1885, S. 148.

den Ansichten von Fick und Mach über die Bedeutung der Widerstände in den Blutwellenzeichnern kein principieller sei. »Fick versteht unter den Widerständen alle die Momente, welche die Geschwindigkeitskräfte der bewegten Masse aufzehren, also auch die, welche Mach als die Gleichgewichtskräfte bezeichnet; während Mach nur von dem Widerstande spricht, welcher der Geschwindigkeit proportional ist.«

»Man wird die richtigen Principien, welche man bei der Benutzung solcher mitschwingenden Apparate zur Wiedergabe von periodischen Bewegungen befolgen muss, leicht finden, wenn man den Bau des vollkommensten solcher Apparate — der membrana tympani — berücksichtigt.« (S. 114.)

E. v. Cyon discutirt die Brauchbarkeit des Quecksilbermanometers und sagt: (S. 116) »Der theoretische Beweis dafür (dass das Quecksilbermanometer die Pulsfrequenz richtig angibt) liegt in dem Seebeck'schen Satze.«

»Danach ist die Anwesenheit von Widerständen, welche eben ausreichen, um die Oscillationen des Quecksilbers in Ruhe zu bringen, schon genügend, um dieselben den regelmässig wiederkehrenden Schwankungen des Blutdrucks ganz isochron zu machen . . . .«

»Die Widerstände, welche die Verbindung mit den Blutgefässen der Bewegung des Quecksilbers entgegenstellt, sind so bedeutend, dass auch in den Fällen, wo die Druckschwankungen ihrer Dauer nach bedeutend von denen der Oscillation des gegebenen Manometers abweichen, Eigenschwingungen nur ganz ausnahmsweise wirklich vorkommen, und auch dann nur, wenn die Oscillation abgelaufen ist und die erschlafften Herzwände während der Diastolenpause der Eigenschwingung nur geringe Hindernisse entgegenzustellen vermögen.« (S. 117.)

»Man beobachtet daher nur Eigenschwingungen, bei Versuchen an Säugethieren hauptsächlich, wenn bei Reizung der Vagi die Herzschläge bedeutend verstärkt und durch Zunahme der Diastolenpause sehr verlangsamt sind.« Auf Anlass von C. Ludwig hat Cyon (S. 118) bei dem von ihm gebrauchten Manometer empirisch bestimmt, »bei welcher Häufigkeit der

Kraftschwankungen (bei gegebenen Quecksilbermassen und Widerständen) eine Eigenschwingung nicht mehr Statt finden kann.«

Bei dem von ihm geprüften Froschherzmanometer genügte eine Dauer von 0,25 Secunden, »damit das Quecksilber in seine Gleichgewichtslage ohne Eigenschwingungen zurückkomme.«

Hieraus folgt, dass bei weniger als 120 Pulse in der Minute »die Oscillationen des Quecksilbers nur durch die wirklichen Schwankungen der Triebkräfte, welche es aus der Gleichgewichtslage herausbringen, — bedingt sind. (S. 119.)«

»Darüber hinaus werden die Oscillationen des Quecksilbers etwas grösser als die wirklichen Blutdruckschwankungen; ihre Form entspricht nicht mehr der Form der Herzcontractionen. Durch geeignete Construction des Manometers, nämlich durch bedeutende Verringerung der schwingenden Masse, bei Verstärkung der Momente, welche diese Masse im Gleichgewichte zu erhalten suchen: der Widerstände, kann man die Dauer seiner Eigenschwingungen noch bedeutender verkürzen, seine Brauchbarkeit also auch auf eine viel grössere Frequenz der Herzstösse ausdehnen. Jenseits dieser Frequenz sind die Angaben der Manometer, was die Intensität der Herzbewegungen, also auch deren Form betrifft nicht mehr zu verwerthen.«

»Wenn man berücksichtigt, dass solche Frequenzen sehr selten vorkommen, dass die Intensitätsschwankungen meistens so gering sind, dass die Fehler hier gar oft vernachlässigt werden können, und dass man endlich überhaupt nur selten das Manometer zum Studium der Form der Herzbewegungen verwendet — so wird man sich nach allem Gesagten nicht der Ueberzeugung erwehren können, dass das Quecksilbermanometer in der Hand eines umsichtigen Experimentators ein ganz exactes Instrument ist, das beim Studium der meisten Circulationsvorgänge durch kein anderes von den bis jetzt vorgeschlagenen Instrumenten zu ersetzen ist.« (S. 119—120.)

R. Magnus hat darauf aufmerksam gemacht,[1]) dass auch das in den Arterien strömende Blut eine träge Masse ist, welche

1) Diese Zeitschr. 1876, Bd. 33 S. 187.

Schleuderwirkungen hervorruft; man finde die »stark ausgeprägte erste Zacke des Pulses auch in Landois' hämautographischer Curve, die das aus dem angeschnittenen Arterienrohr ausspritzende Blut selbst auf einer vorbei gezogenen Tafel verzeichnet.«

v. Frey[1]) sagt in seinem Buche: »Die Untersuchung des Pulses«: »Die Manometer mit schwingenden Flüssigkeitssäulen haben gegenüber den elastischen Manometern eine bedeutende Trägheit, welche einerseits die Compensation verzögert, andererseits die Instrumente zu selbständigen Oscillationen sehr geneigt macht. Man kann zwar durch Wahl enger Röhren die Masse der schwingenden Flüssigkeit verkleinern, doch kommt man wegen zunehmender Reibung und Schwierigkeit der Registrirung bald an eine Grenze.«

»Die Manometer sind daher zur Darstellung der Pulsform nur in den seltensten Fällen tauglich. Dagegen geben sie den Mittelwerth des Druckes unter den physiologischen Versuchsbedingungen mit genügender Genauigkeit, bei Einschaltung einer Verengerung zwischen Blutgefäss und Instrument — Marey's gedämpftes oder compensirtes Manometer — sogar völlig richtig an. Zu diesem Zwecke angewandt, ist das Manometer in Folge der Einfachheit seiner Handhabung und der Leichtigkeit, mit welcher der Druckwerth in absolutem Maasse sich bestimmen lässt, allen anderen Druckmessern überlegen.«

Herr Professor Kronecker hat, besonders in seinen physiologischen Uebungen, gelegentlich oft die Erfahrung gemacht, dass die Federmanometer bei schnellen hohen Blutdruckschwankungen abnorm hohe Werthe verzeichnen.

Die experimentelle Prüfung der Federmanometer in Bezug auf die Darstellung grosser, rasch folgender Druckänderungen hat Hürthle auf Kronecker's Rath schon vor acht Jahren vorgenommen.[2])

Das Ergebniss seiner Versuche formulirte er in folgenden Sätzen: »dass bei der plötzlichen Einwirkung hoher Druckwerthe

1) v. Frey, Die Untersuchung des Pulses. Leipzig 1892, S. 44.

2) Hürthle, Beiträge zur Hämodynamik. 4. Abhandl. Pflüger's Arch. 1890, Bd. 47 S. 8.

auf das Gummi- und Federmanometer die Schreibevorrichtung dieser Apparate den an der Manometertrommel jeweils vorhandenen Druck richtig verzeichnet, dass aber durch die zum Ausgleich der Druckdifferenz nothwendige Flüssigkeitsverschiebung eine Stosswirkung entsteht, durch welche der ursprüngliche Druckwerth unter Umständen beträchtlich vermehrt und entstellt wird, da die lebendige Kraft der Flüssigkeit sich in Spannung der Gummimembran, bezw. der Stahlfeder umsetzt.«

Hiermit war die Frage nicht beantwortet, ob die Angaben des Federmanometers richtiger seien als die eines Quecksilbermanometers.

Daher habe ich auf Vorschlag von Herrn Professor Kronecker die Druckwerthe, welche ein gutes Poiseuille'sches Manometer von 3 mm lichtem Durchmesser, etwa 60 qm Hg = 4,5 ccm enthaltend, liefert, und dessen Quecksilbersäule einen Fuess'schen Schwimmer trug, — mit einem Hürthle'schen Tonographen vorletzter Construction[1]) (mit Gummiplatte und Stahlfeder) verglichen.

Zunächst maass ich kathetometrisch die Stellung des Quecksilbermeniscus im freien Schenkel eines Ludwig'schen kymographischen Manometers (*m* in schematischer Fig. 1) bei langsam vermehrtem oder vermindertem Drucke.

Diesen hydrostatischen Druck bestimmte ich in bekannter Weise mit Hilfe von zwei Quecksilber enthaltenden Flaschen *a* und *b*, von denen die eine *a*, auf der Platte eines sehr festen Schraubenstatives *St* höher oder tiefer zu stellen war, während nahe der Flasche *b* ein Steigrohr *r* in die Quecksilberleitung *lhg* von *a* nach *b* mittels des Hahnes *h* eingeschaltet werden konnte.

Die Höhe der Hg-Säule in diesem Rohre zeigt den auf die Wasserleitung *lw* bis zum Manometer *m* ausgeübten Druck, wenn der T-Hahn *h* die Verbindung zum Manometer offen hielt.

1) Herr Mechaniker Fuess in Berlin hat diesen Schwimmer, der sich durch einen Hals auszeichnet, construirt. Vgl Zeitschr. f. Instrum.-Kunde 1889, S. 283.

2) Hürthle, Beiträge zur Hämodynamik. 1. Abhandl. Pflüger's Archiv 1888, Bd. 43 S. 422.

Mit Hilfe eines guten Kathetometers *Kat*, das in etwa 3 Meter Entfernung vom Steigrohre *r* aufgestellt war, maass ich den Stand des Hg-Meniscus.

Als Null-Druck nahm ich denjenigen Stand im Steigrohre an, auf welchen sich das Hg einstellte, wenn es in den beiden

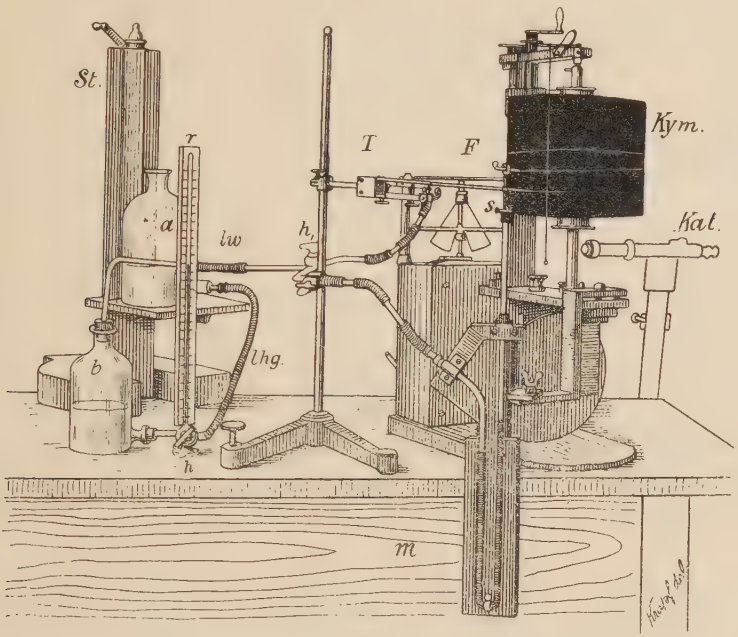


Fig. 1.

Schenkeln des Manometers gleich hoch stand, wobei der positive Ueberdruck des Wassers im **U**-Manometer durch den Unterdruck im Endrohre der Leitung *lw* über der Flasche *b* ausgeglichen wurde.

Der Fuess'sche Schwimmer *S* folgte exact den veränderten Stellungen des Quecksilberstandes im freien Manometerschenkel, so dass auch der Meniscus unveränderte Wölbung behielt. Demgemäss zeichnete bei gleichem Drucke die Glasfeder *F* in gleicher Höhe auf den rotirenden Kymographioncylinder die Umfangslinie. Umstehende Fig. 2 gibt das Resultat einer solchen Versuchsreihe wieder. Bekanntlich zeichnet das **U**-Manometer die Druckhöhen nur in halben Längen.

Hürthle's Tonograph *T* (Fig. 1), in ähnlicher Weise graduirt, zeichnete, bei kathetometrisch abgemessenen Druckveränderungen, nicht proportionale Hebungen resp. Senkungen des Hebels auf, sondern in der Reihe abnehmender Drucke stellte sich

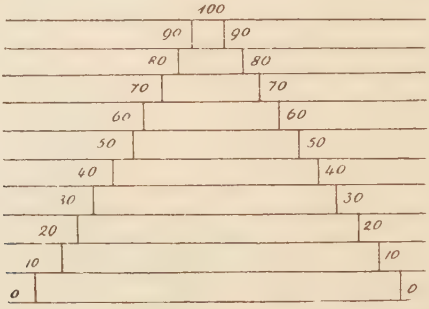


Fig. 2. Auf den Kymographioncylinder gezeichnete Manometerhöhen.

der Hebel, bei gleichen manometrischen Werthen, auf andere Höhen, als er es in der Reihe zunehmender Drucke gethan hatte.

Solche Rückstände werden durch folgende Figur eines Druckliniensystems verdeutlicht.

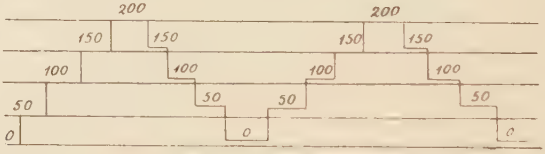


Fig. 3. Versuch vom 26. Mai 1898. Tonograph notirt Quecksilberdrucke. Vergrösserung 40fach.

In Zahlenwerthen ausgedrückt, ergeben sieben auf einander folgende Messungsreihen folgende Werthe.

Tabelle I.

Differenzen der Hebelstände bei gleichen Drucken in den aufsteigenden und in den absteigenden Reihen.

Quecksilberdruck in mm	I	II	III	IV	V	VI	VII
↑200—↓200	–		—	—	—	—	—
↑150—↓150	0,50	1,0	0,75	1,0	0,75	1,0	1,0
↑100—↓100	1,25	1,75	0,25	1,50	1,25	1,75	1,50
↑ 50—↓ 50	2,00	1,75	0,25	1,75	1,25	1,25	1,75
↑ 0—↓ 0	1,25	1,75	1,50	1,50	1,75	1,25	1,75

In diesen Reihen schrieb der Hebel die Hebungen der Kapselpelotte, um das 40fache vergrössert, auf.

Diese unerwartete Unvollkommenheit des Apparates hätte man zunächst durch unvollkommene Elasticität der Gummimembran erklären können, aber der Spannung widersteht ja bei unserem Hürthle'schen »Federmanometer« die relativ starke Stahlfeder, von der man nicht annehmen konnte, dass sie durch einen Druck von 50 mm Hg, welcher nach meinen Bestimmungen einer auf das Federende wirkenden Last von 20,4 g entspricht, für längere Zeit verbogen werden sollte.

Eine solche elastische Nachwirkung müsste desto beträchtlicher sein, je grösser die biegenden Lasten sind. Aus den obigen Reihen ergibt sich aber, dass die Abweichungen bei höherem Drucke geringer waren als bei niederem; auch zeigte sich, dass diese hypothetische elastische Nachwirkung, wie sie Wundt[1]) für organische Gewebe annahm, nach der Entlastung ein continuirliches Zurückkehren in die Gleichgewichtslage voraussetzen liess. Dies konnte ich aber nicht beobachten.

Der erhöhte Stand hält sich längere Zeit unverändert, bis irgend eine Erschütterung die normale Lage wieder herstellte.

Folgende kleine Versuchsreihe beweist, dass die Feder bis zum maximalen Blutdrucke innerhalb der Grenzen ihrer vollkommenen Elasticität bleibt.

Wir liessen den Schreibhebel des Hürthle'schen Federkymographen am Kymographioncylinder ohne Druck die Abscissen- (0) Linien ziehen, hierauf zogen wir die den manometrischen Drucken von 50 mm, 100 mm, 150 mm und 200 mm entsprechenden Abscissenlinien. Sodann banden wir an diejenige Stelle der Feder, welche die Pelottenplatte aufnimmt, ein Reagenzgläschen, in welches wir so viel Quecksilber gossen, bis die Feder den mit ihr verbundenen Schreibhebel zu den betreffenden Drucklinien 50, 100, 150, 200 gesenkt hatte. Natürlich war zu dem Behufe der Tonograph umgekehrt am Stative befestigt, so dass die Null-Linie oben, die Drucklinien tiefer geschrieben wurden — zuvor ward zur bequemeren Gewichtsbefestigung die Kapsel abgenommen worden.

---

1) Wundt, Die Lehre von der Muskelbewegung 1858, Ss. 22 u. 39.

Wir erhielten bei solcher Versuchsreihe folgende Werthe.

Es entsprachen den Druckerhöhungen von 0 auf 50 mm, 0—100, 0—150, 0—200 mm Quecksilber die Gewichte von 20,4 g, 38,8 g, 58,1 g, 76,8 g.

Hierbei ist die Feder vom Arretirstifte auf $^1/_4$ ihrer Länge an der Biegung (im Sinne der Drucksteigerung) gehemmt, d. h. steifer (resp. kürzer) gemacht. Da der Federansatz verdickt ist, nimmt die Starre nicht entsprechend der Verkürzung zu.

Wir prüften auch die Elasticitätsgrösse der ganz freien Feder ohne Stellstift, indem wir die Feder wiederum durch Gewichte, die den gefundenen Veränderungen des hydrostatischen Druckes entsprachen, biegen liessen.

Wir erhielten dann folgende zusammengehörige Werthe:

Es entsprachen den Druckveränderungen von 0 auf 50, 0—100, 0—150, 0—200 mm Gewichte von 19,8 g, 38,2 g, 58,0 g, 75,2 g. Endlich verglichen wir die Biegungswiderstände der Feder nach beiden Richtungen (oben und unten), um zu prüfen, ob dieselbe völlig symmetrisch gearbeitet ist. Der Vergleich ergab folgende Werthe:

0	bis	+ 50	mm	Quecksilber	=	19,8 g
0	»	— 50	»	»	=	18,0 »
0	»	+ 100	»	»	=	38,2 »
0	»	— 100	»	»	=	32,7 »
0	»	+ 150	»	»	=	58,0 »
0	»	— 150	»	»	=	48,7 »
0	»	+ 200	»	»	=	75,2 »
0	»	— 200	»	»	=	63,6 »

Hieraus ergibt sich, dass geringere Kräfte erforderlich sind, die Feder nach unten zu biegen (im Sinne des negativen Druckes) als nach oben. Da sich nun aus der vorigen Tabelle ergeben hat, dass auch der Stellstift der Biegung nach oben etwas Widerstand leistet, so ergibt sich, dass der Hürthle'sche Tonograph, in der von uns gebrauchten Ausführung, viel empfindlicher für negative Druckschwankungen als für positive ist.

Mit Sicherheit aber liess sich feststellen, dass die entlastete Feder ihre frühere Lage (vor der Belastung) sogleich und vollkommen wieder annimmt.

In zweiter Linie dachten wir an die Möglichkeit, dass die Gelenkstücke, welche die Druckfeder mit dem Schreibhebel verbinden, bei Schrägstellung sich klemmen und hierdurch die Rückkehr zur Gleichgewichtslage unvollkommen wird; man konnte um so mehr hieran denken, als Erschütterungen des Apparates das Gleichgewicht meist sofort herstellten. Wir fanden aber, dass weder Oelen der Charniere noch Versetzen derselben, den Rückstand der Erhebung minderte.

Hierauf prüften wir die Möglichkeit, dass die capillaren Widerstände gegen Verschiebung der Flüssigkeit in den Röhren, welche das Blutgefäss mit dem Tonographen verbinden, Ursache für den Druckrückstand sein könnten.

Diese Hypothese erschien uns darum besonders plausibel, weil beim stufenweisen Erhöhen und Erniedrigen des Druckes eine Reihe von solchen Treppen gleich aussah, indem die absteigenden Stufen über den aufsteigenden in ungefähr gleicher Distanz sich hielten, also eine wachsende Nachwirkung, wie sie bei unvollkommener Elasticität anzunehmen wäre, nicht beobachtet werden konnte.

Wir prüften unsere Annahme folgendermaassen: Wir verbanden durch 3 mm weite Röhren den ebenso weiten Ansatz des Tonographen mit der Quecksilberdruckflasche und füllten in vergleichenden Versuchsreihen das System mit Flüssigkeiten verschiedener Zähigkeit (innere Reibung) wie Methylalkohol, Wasser, Aethylalkohol und Glycerin. Unsere Voraussetzuug war richtig.

In folgender Tabelle sind die Resultate vergleichender Messungen von Drucken mittels des Tonographen, während derselbe entweder mit der einen oder anderen Flüssigkeit gefüllt war, angegeben.

Tabelle II.

Differenzen der Druckzeichnungen des Hürthle'schen Federmanometers zwischen aufsteigenden und absteigenden Ordinaten gleicher Drucke.

Quecksilberdruck mm	Methylalkohol mm	Wasser mm	Aethylalkohol mm	Glycerin mm
0				
↑ 50 ↓ 50	0,51	0,55	0,64	1,03
↑ 100 ↓ 100	0,525	0,58	0,60	1,04
↑ 150 ↓ 150	0,40	0,42	0,42	1,00
↑ 200 ↓ 200	0,28	0,40	0,45	0,73

Hierauf untersuchte ich die Unterschiede in den Bewegungen der Flüssigkeiten im Kymographen und im Tonographen, wenn gleiche Druckveränderungen, nicht wie bisher allmählich, sondern schnell erzeugt wurden.

Schnelle Druckveränderungen im Quecksilbermanometer erzeugte ich durch Compression eines sehr dickwandigen (3 mm Wandstärke und 3 mm Lumen haltenden) Kautschukschlauchs.

Die Compression geschah mit einer Flachzange von 1 cm Breite.

Das Gummirohr war entweder in einer Entfernung von 30 cm oder in einer solchen von 2 cm vom Manometer comprimirt, nachdem es unter verschiedenem Drucke mit Wasser gefüllt worden war.

Durch die Compression des Schlauches wurden verschiedene Mengen Flüssigkeit in das Manometer verdrängt, je nachdem der Schlauch lang oder kurz, die Spannung der Flüssigkeit hoch oder niedrig war.

Es stieg z. B. durch Quetschung von 1 cm des 2 cm kurzen Rohres, dessen Inhalt unter Spannung von 100 mm Hg stand, die Manometersäule um 11 mm, während sie bei Spannung von 150 mm Hg durch gleiches Verfahren um 10 mm gehoben wurde.

Von einem 30 cm langen Schlauch, bei Spannung von 100 mm Hg wurde, durch Druckentleerung von 1 cm Schlauch, die Manometerhöhe um 11,5 mm vermehrt, während bei Spannung von 150 mm die Hebung 12 mm betrug.

Diese letzten Resultate erhielt ich, nach Veröffentlichung meiner vorläufigen Mittheilung, durch neue, genaue Messungen.

Sowohl die Weite des Zuleitungsschlauches als die Weite des Manometerrohres betrugen 3 mm.

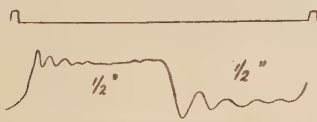
Demnach sind die Verschiebungen der Flüssigkeiten proportional den entleerten Längen. Freilich entsteht eine Ungenauigkeit dadurch, dass bei Compression des Gummischlauches nicht nur die direct gequetschte Stelle entleert wird, sondern auch die zunächst benachbarten Theile des Schlauches ein wenig verengt werden.

Es ergaben sich Verdrängungen der Masse von 70,684 cbmm bei Entleeren eines 1 cm langen Rohrstückes und von 14,137 cbmm bei Entleeren eines 2 mm langen Stückes. Diese Werthe entsprechen den Längenverhältnissen.

Bei schnell vorübergehenden Drucken auf den mit Poiseuille's Manometer verbundenen Schlauch folgten der ersten Erhebung Nachschwingungen verschiedener Frequenz, je nachdem das mit dem Manometer communicirende Rohrstück lang oder kurz war.

Demzufolge waren die Schwingungen während der Compression (Bergwellen) auch verschieden von den Schwingungen nach Aufhebung der Compression (Thalwellen).

So erhielt ich bei 2 cm Entfernung der Druckstelle vom Manometer Zeichnungen, wie sie die Figg. 4—9 wiedergeben.



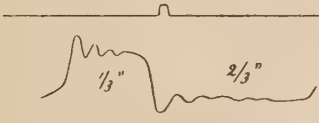
100 mm Hg-Druck.

Fig. 4.

150 mm Hg-Druck.

Fig. 5.

Schwankungen des Quecksilbers im Kymographen während Compression und Wiedererweiterung des mit dem Manometer verbundenen wasserhaltigen, 2 cm langen Kautschukschlauches. Dauer der Compression $^1/_2$"; Pause zwischen den Compressionen $^1/_2$". Ruhedruckhöhe der Quecksilbersäule im Manometer 100 mm (Fig. 4) oder 150 mm (Fig. 5).



100 mm Hg-Druck.

Fig. 6.

150 mm Hg-Druck.

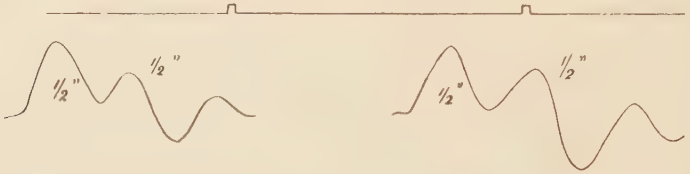
Fig. 7.

Schwankungen des Quecksilbers im Kymographen während Compression und Wiedererweiterung des mit dem Manometer verbundenen wasserhaltigen, 2 cm langen Kautschukschlauches. Dauer der Compression $^1/_3$", Pause zwischen den Compressionen $^2/_3$". Ruhedruckhöhe der Hg-Säule im Manometer 100 mm (Fig. 6) oder 150 mm (Fig. 7).

100 mm Hg-Druck. Fig. 8.

150 mm Hg-Druck. Fig. 9.

Schwankungen des Quecksilbers im Kymographen während Compression und Wiedererweiterung des mit dem Manometer verbundenen wasserhaltigen, 2 cm langen Kautschukschlauches. Dauer der Compression $^2/_3$". Pause $^1/_3$". Ruhedruckhöhe der Hg-Säule im Manometer 100 mm (Fig. 8) od. 150 mm (Fig. 9).



100 mm Hg-Druck. Fig. 10.

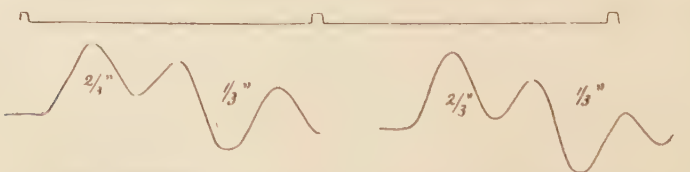
150 mm Hg-Druck. Fig. 11.

Schwankungen des Quecksilbers im Kymographen während Compression und Wiedererweiterung des mit dem Manometer verbundenen wasserhaltigen, 30 cm langen Kautschukschlauches. Dauer der Compression $^1/_2$", Pause zwischen den Compressionen $^1/_2$". Ruhedruckhöhe der Hg-Säule 100 mm (Fig. 10) oder 150 mm (Fig. 11).

100 mm Hg-Druck. Fig. 12.

150 mm Hg-Druck. Fig. 13.

Schwankungen des Quecksilbers im Kymographen während Compression und Wiedererweiterung des mit dem Manometer verbundenen wasserhaltigen, 30 cm langen Kautschuckschlauches. Dauer der Compression $^1/_3$", Pause zwischen den Compressionen $^2/_3$". Ruhedruckhöhe der Hg-Säule 100 mm (Fig. 12) oder 150 mm (Fig. 13).



100 mm Hg-Druck. Fig. 14.

150 mm Hg-Druck. Fig. 15.

Schwankungen des Quecksilbers im Kymographen während Compression und Wiedererweiterung des mit dem Manometer verbundenen wasserhaltigen, 30 cm langen Kautschukschlauches. Dauer der Compression $^2/_3$", Pause zwischen den Compressionen $^1/_3$". Ruhedruckhöhe der Hg-Säule 100 mm (Fig. 14) oder 150 mm (Fig. 15).

Wir sehen, dass sogar in einem nur 1 cm langen Stücke des sehr dickwandigen[1]) Kautschukschlauches die um 10—11,5 mm gehobene Hg-Säule noch 3—5 Schwingungen — von $^1/_{18}$ bis $^1/_{15}$ Secunde Schwingungsdauer — zu veranlassen vermag. Nachdem das auf 1 cm Länge comprimirte Schlauchstück frei gelassen wurde, ermöglichten in dem 2 cm langen Schlauchstücke 3—4 Schwingungen der Quecksilbersäule von 3—4 Anfangserhebungen, von $^1/_{11}$—$^1/_{10}$ Secunde Schwingungsdauer. Daher ist für die Wellen bei verkürztem Schlauche (1 cm) eine kleinere Zeitdauer erforderlich als für die Schwingungen im langen (2 cm) Schlauche.

Wie Fig. 6 und 7 zeigen, genügt $^1/_3$ Secunde nicht, um bei 1 cm langem Schlauche die Nachschwingungen vollkommen abklingen zu lassen. Hingegen genügt $^1/_2$ Secunde. Bei 2 cm langem Schlauche (nach schneller Oeffnung der Klemme) genügt nicht einmal $^1/_2$ Secunde, um die Nachschwingungen völlig verschwinden zu lassen; $^2/_3$ Secunden scheinen unter allen Umständen für diese Nachschwingungen hinzureichen (Fig. 6, 7, 8 und 9).

Die Frequenz der Schwingungen wird, wie man aus dem Vergleiche der Figuren sieht, nicht merklich beeinflusst durch Veränderungen der Spannung des Gummirohres von 100 auf 150 mm Hg-Druck.

Sehr wesentlich verschiedenen Charakter nehmen die Wellen an, wenn das Schlauchstück, in welchem die Flüssigkeitssäule oscillirt, lang ist (29—30 cm). In so langem Schlauche erfolgen die Schwingungen in geringerer Frequenz mit grosser Amplitude (s. Fig. 10—15). Es folgen der ersten Erhebung 4—5 Nachschwingungen, welche eine Zeit über 1 Secunde ausfüllen können.

---

1) Für die Compression desselben nach dem durch Zederbaum beschriebenen Verfahren (du Bois-Reymond's Arch. 1883, S. 172) wurde hier der Druck auf 1 qcm Wand, welcher das Lumen für Wasser undurchgängig macht, auf 1750 g bestimmt. Es zeigte sich dabei eine Eigenthümlichkeit, dass grössere Gewichte erforderlich waren, um das Lumen des Rohres zu verschliessen, wenn man die Last steigerte, als wenn man eine grössere Last minderte. Es muss dies wohl so erklärt werden, dass, wenn die Seitenwände geknickt sind, die obere und untere Wand leicht auf einander gepresst werden können.

Daher genügen diejenigen Intervalle, welche in dem kurzen Schlauche hinreichend waren, um die Nachschwingungen verschwinden zu lassen, für den langen Schlauch nicht mehr. Die Berg- und Thalwellen interferiren bei solchem Rhythmus selbst bei $^2/_3$ Secunde langer Pause, was z. B. in Fig. 13 illustrirt ist[1]).

Druckveränderungen in Hürthle's Tonographen, unter gleichen Umständen wie im Quecksilbermanometer, erzeugte ich durch Compression eines 2 mm langen Stückes vom Gummischlauche mittels einer Drahtzange.

Wenn 30 cm Gummischlauch zwischen dem Tonographen und der Quetschstelle lagen, so entsprach der Ausschlag des Hebels 20 mm Hg-Druck, sowohl bei Spannung des Rohres auf 100 mm Hg, wie auf 150 mm Hg.

Bei kurzem Schlauche war die Compression nicht ausführbar, weil die kleine Tonographenkapsel durch das Eindringen einer relativ grossen Wassermenge ohne Schlauchreserve gesprengt wird. Der Schreibhebel des Tonographen wurde durch solche schnelle Drucke nicht in Schwingungen versetzt, sondern der Hebel blieb auf der erreichten Höhe ruhen, ebenso nach der Rückkehr zur Null-Stellung in dieser.

Es blieb jetzt noch die praktisch wichtige Aufgabe: zu untersuchen, in welcher Weise kurzdauernde Drucke verschiedener Frequenz die Quecksilbersäule in ihren Oscillationen stören.

Bis zu 120 Pulsen pro Minute können die Nachschwingungen des Manometers mit 2 cm langem Kautschukrohre abklingen. Fig. 16 zeigt solche Schwingungen bei 150 mm Hg-Druck.

Im Schlauche von 30 cm Länge können nur 60 Vibrationen gerade abklingen, wie die Fig. 17 b zeigt. Bei 120 Pulsen verschmelzen die Nachschwingungen derart, dass sie nur ab und zu als dikrote Erhebungen im absteigenden oder aufsteigenden Schenkel der Welle angedeutet sind. In der Curve mit freien Schwankungen erkennen wir wieder, dass in der Druckperiode

1) Im Satz 5 meiner vorläufigen Mittheilung (Berichte d. physiol. Ges. zu Berlin, 15. November 1898) sind die Resultate von Druckversuchen mitgetheilt, die unter complicirteren Bedingungen, als die hier mitgetheilten waren, angestellt sind.

die Wellen kürzer sind als in der Nachlassperiode, während deren die Flüssigkeit im längeren Schlauchstücke oscillirt.

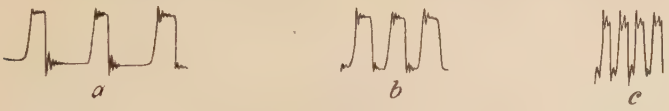


Fig. 16.

Schwankungen des Quecksilbers im Kymographen während Compression in verschiedenen Intervallen (a = 2 Sec., b = 1 Sec., c = $^1/_2$ Sec.). Länge des Schlauches 2 cm. Ruhestellung der Quecksilbersäule 150 mm Hg.

Fig. 17.

Schwankungen des Quecksilbers im Kymographen während Compression in verschiedenen Intervallen (a = 2 Sec., b = 1 Sec., c = $^1/_2$ Sec.). Länge des Schlauches 30 cm. Ruhestellung 150 mm Hg.

Wir gingen nun dazu über, die Aufzeichnungen der zwei Arten von Blutwellenschreibern an Hunden zu vergleichen. Die Versuche wurden in folgenden Modificationen ausgeführt:

1. Die eine Carotis eines Hundes wurde mit Ludwig's Kymographen, die andere mit Hürthle's Tonographen verbunden.

2. Die gleiche Carotis wurde erst mit Ludwig's Kymographen, sodann mit dem Tonographen geschaltet.

3. Von einer Carotis ging der unpaare Schenkel eines Gabelrohres aus, dessen Verzweigungsstelle einen T-Hahn trug. Derart konnte entweder jeder Apparat für sich die Druckschwankungen aufzeichnen oder beide schrieben zugleich.

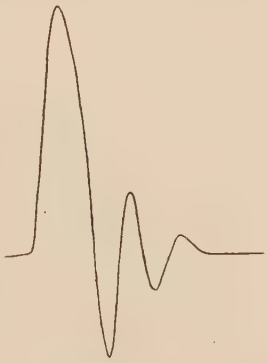


Fig. 18.

Das beiderseits offene Quecksilbermanometer machte, wenn es durch einen schnell vorübergehenden, sehr starken Druck aus der Gleichgewichtslage gebracht wurde, zwei Nachschwingungen mit der Wellendauer von 1,2 Secunden (Fig. 18).

Im Manometer, das mit der Carotis des Hundes verbunden war, sah ich, während der Vagusreizung, eine oder auch zwei,

den grossen Vaguspulsen folgende Nachschwingungen von etwa 1,1 Secunde Schwingungsdauer (Fig. 19).

Es leistet also das erschlaffte Aortensystem des Hundes der schwankenden Quecksilbersäule wenig Widerstand.

Wenn die Pulse etwas häufiger sind, so kommt es vor, dass sie durch die Eigenschwingungen deformirt werden. Bei etwa

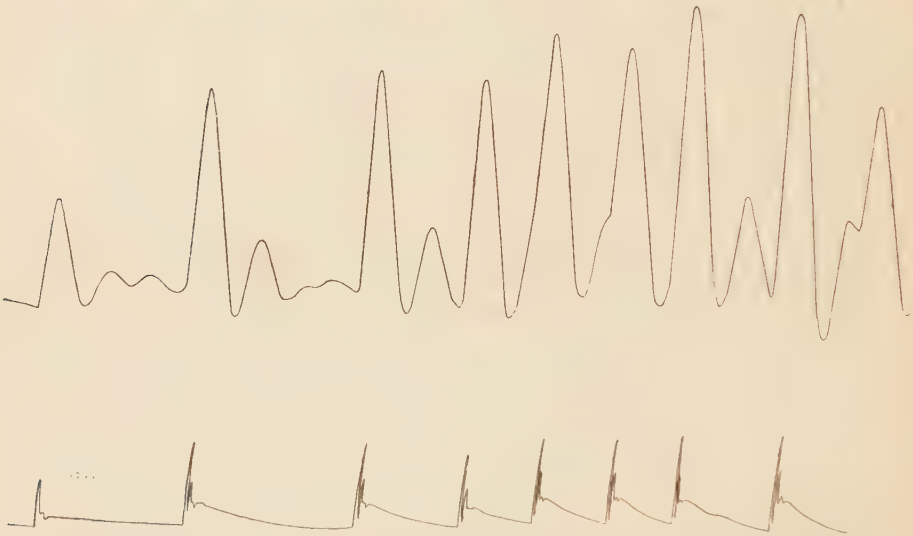


Fig. 19.
Vaguspulse eines Hundes durch Ludwig's Kymographen (oben) und Hürthle's Tonographen (unten) gleichzeitig registrirt.

70 Pulsen pro Minute erscheinen die vom Quecksilbermanometer geschriebenen Wellen vollkommen einfach: mit der Athmung in der Höhe wechselnd.

Die von Hürthle's Tonographen gleichzeitig mit dem Kymographen verzeichneten Pulse erscheinen, wie Fig. 19 zeigt, auch bei geringer Frequenz in gleicher Zahl der primären (Haupt-) Erhebungen, wie die Herzpulse.

Nur in einem Falle (s. Fig. 20) beobachtete ich eigenthümliche Doppelerhebungen, welche in der gleichzeitig gezeichneten Quecksilbermanometercurve nicht zu bemerken waren.

Um die Eigenschwingungen der Blutsäule in den Arterien von den Eigenschwingungen des Quecksilbers im Manometer gesondert darzustellen, haben wir im Verlaufe grosser Vagus-

pulsreihen den Hahn zwischen Manometer und Carotis für einige Secunden geschlossen und so die nach Wiedereröffnung des

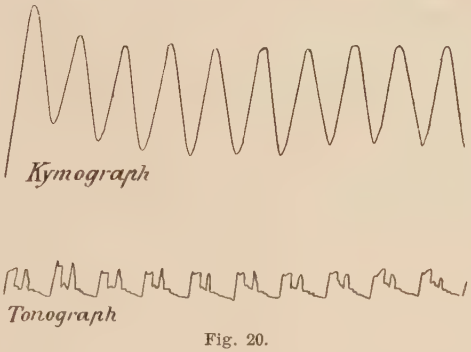


Fig. 20.

Hahnes auf das verschieden gespannte Quecksilbermanometer wirkenden Pulsphasen abfangen lassen.

Die nachfolgenden Figuren zeigen die Effecte der Pulsation im Aortensysteme von

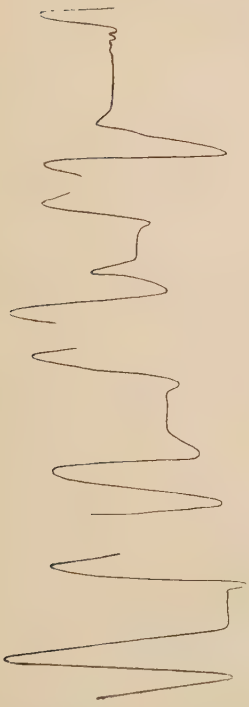


Fig. 21.

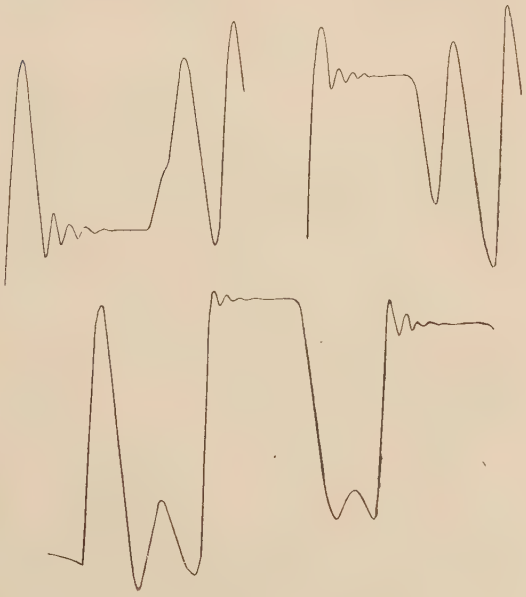


Fig. 22.

zwei Hunden (Fig. 21 u. 22) auf die in verschiedenen Höhen festgehaltene Quecksilbersäule: geordnet nach aufsteigendem Blutdruck.

Wir ersehen schon aus diesen Beispielen, dass auch die vom Quecksilbermanometer abgesperrte Blutsäule in den Arterien Eigenschwingungen vollführt, welche die niedriger eingestellte Quecksilbersäule sofort nach oben schleudern können. Hieraus ist zu schliessen, dass auch die pulsirende Blutsäule die träge Quecksilbermasse in ihren Schwingungen zu hemmen oder zu begünstigen vermag.

So erklärt es sich, dass unter normalen Pulsverhältnissen die Kymographionwellen isochron mit den Herzschlägen sind.

Tonograph.

a) Pulsfrequenz.

Gibt der Tonograph getreue Bilder der Gefässpulsation? Nach dem, was wir am Schema beobachtet und früher (S. 34) besprochen haben, könnten wir glauben, dass der Schreibhebel des Tonographen exact die Druckschwankungen im Gefässsysteme angebe, denn plötzliche Druckveränderungen von 0 bis 150 mm durch Compression des Kautschukschlauches veranlassten keine merklichen Schwingungen des Tonographenhebels. Ganz anders ist dies aber, wenn der Tonograph mit dem Arteriensysteme eines Hundes in Verbindung steht.

Da sehen wir ganz erhebliche Eigenschwingungen, wie die nachfolgenden Curven zeigen (Fig. 23).

Fig. 23.

Die Eigenschwingungen sind um so grösser, je höher die Pulse: ganz wie beim Quecksilbermanometer, haben nur eine viel geringere Schwingungsdauer — derart, dass nach $^1/_4$ Secunde der Gleichgewichtszustand wieder hergestellt ist, also auch wohl bei der grössten Pulsfrequenz keine Wellen durch Interferenz vernichtet,

geschweige denn neue künstliche eingeführt werden könnten. Doch aber kann es vorkommen (s. oben S. 37 Fig. 20), dass gespaltene Pulse (nach Art von Traube's pulsus bigemini) vom Tonographen gezeichnet werden, die der gleichzeitig registrirende Kymograph nicht angibt.

b) Pulshöhe.

In Verbindung mit dem dicken Kautschukschlauche vermag die relativ schwache Tonographenfeder ihre Eigenschwingungen

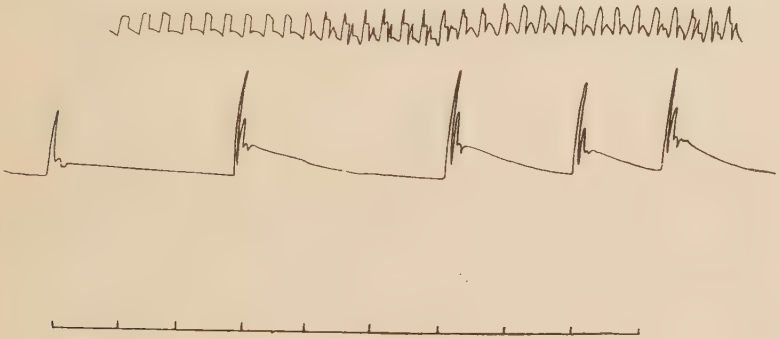


Fig. 24.

den Rohrwandungen nicht aufzudrängen; ganz anders, wenn sie mit dem Inhalte des dünnwandigen, leicht dehnbaren Gefässsystems verbunden ist. Dieses gestattet, wie wir gesehen haben, dem Hebel Nachschwingungen aufzuzeichnen. Es fragt sich jetzt, ob der erste Ausschlag die Druckvermehrung während eines Pulses richtig angibt. Man kann diesen ersten Ausschlag als Schleuderung betrachten und ihn beseitigen, wie dies Hürthle durch Verengerung der Hahnöffnung zum Tonographen anordnet (»Dämpfung«), oder man kann die Reibung des Schreibhebels an der berussten Fläche ein wenig vermehren. Dann verschwindet die erste Zacke des Pulses.

Gibt uns die gedämpfte Curve ein Bild der wahren Druckveränderung im Gefässsysteme? Obenstehende Curvenreihen zeigen in der unteren Linie Vaguspulse mit starken Schleuderungen, in der oberen Reihe Tonogramme bei normaler Pulsfrequenz (Fig. 24).

Oben sehen wir an den Pulsen ohne Spitzen Schwankungen, welche Druckveränderungen von etwa 40 mm entsprechen — unten seltene Vaguspulse, deren maximale Höhen, bei Vernachlässigung der ersten und zweiten Schleuderungen, zwischen 28 mm und 47 mm variiren.

Kein Physiologe, der jemals einen Vaguspuls gefühlt hat, wird annehmen wollen, dass solche niedriger sind als diejenigen normaler Frequenz.

Wenn man durch Hahnverengerung, oder Federreibung des Tonographen die Pulse dämpft, so kann man, wie nachfolgende Figg. 25 und 26 zeigen, ganz beliebig die Pulse erniedrigen.

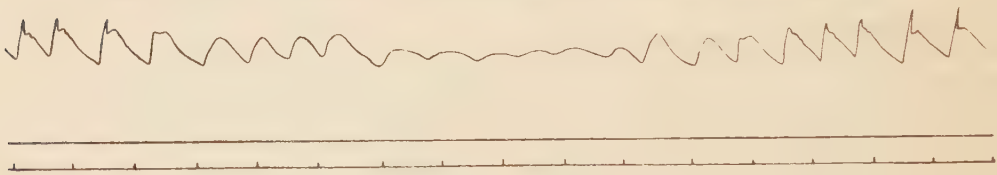


Fig. 25. Innere Dämpfung (Hahnverengung).

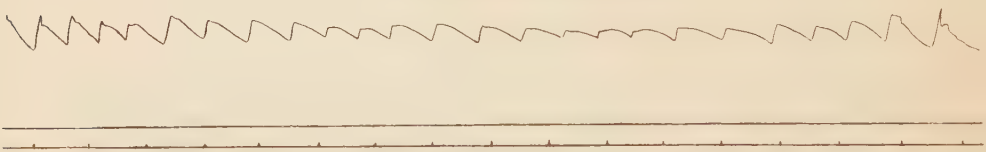


Fig. 26. Aeussere Dämpfung (Federreibung).

Man sieht aus diesen Figuren (24 und 25), dass die mittlere Druckhöhe der maximal gedämpften Pulse unter der Minimal höhe der wenig gedämpften liegen kann.

c) Mittlerer Blutdruck.

Aus diesem Grunde kann man durch Dämpfung nicht unmittelbar den mittleren Blutdruck bestimmen.

Man kann dies auch nicht durch planimetrische Inhaltsmessungen der Tonographencurven.

Die nachfolgenden Beispiele verschieden geformter Tonogramme zeigen, dass die Anfangsspitzen, deren Inhalt meist verschwindend klein ist im Vergleiche zum Inhalte der langsam abfallenden Curventheile — doch für die Bestimmung der Pulshöhe am Wesentlichsten sind. Der abfallende Curventheil gibt ja

doch nur die Geschwindigkeit des Druckabfalls, respective des Abflusses an.

Dieser Abfluss ist am abgebundenen Arterienstücke erschwert, gegenüber anderen Gefässzweigen, welche mit einem Capillargebiete noch in offener Verbindung stehen; abgesehen davon, dass der Abfluss aus dem Apparate durch Widerstände elastischer oder träger Masse, zumal aber auch durch capillare Widerstände verzögert wird. Wenn wir den Inhalt der Curve als maassgebend ansehen für die Bestimmung der mittleren Pulshöhe, so kann es leicht geschehen, dass man aus kleineren Pulsen einen höheren Mitteldruck berechnet als aus grösseren. Der Puls ist, wie das Wort sagt, ein Stoss des Gefässsystems, und die schnellen Wechsel zwischen Spannung und Erschlaffung begünstigen, wie Hamel[1]) nachgewiesen hat, die Circulation.

Die Grösse des Pulses, nicht die Dauer, ist innerhalb gewisser Grenzen maassgebend für ihren Nutzeffect. Die secundären oder tertiären Elevationen (dikrot, trikrot) sind physiologisch unerheblich für den Effect der Impulse, werden aber bei geometrischer Verwerthung sehr einflussreich. Aus diesen Gründen habe ich als Mitteldruck der Pulswelle das arithmetische Mittel zwischen Maximum und Minimum der Zeichnung des ungedämpften Tonographenschreibhebels bestimmt. Natürlich sind hierbei die Fehler, welche durch Trägheit der bewegten Masse gesetzt werden, nicht eliminirt, aber es wird ja gerade hauptsächlich dem vollkommenen Tonographen als Verdienst angerechnet, dass solche Verunstaltungen der Druckcurven gar nicht oder in zu vernachlässigenden Grössen vorhanden seien.

Es ist schon oben ausführlich behandelt worden, dass die bewegte Quecksilbersäule in Ludwig's Kymographen in viel grösserem Maasse Eigenschwingungen vollführt als der Tonographenschreibhebel. Da aber diese pendelartigen Schwingungen, wie wir gesehen haben, durch die nachgiebigen Arterienwände wenig gedämpft werden, so ist es erlaubt, die Wellenamplituden zur Berechnung des mittleren Blutdruckes zu verwerthen — ausser,

1) G. Hamel, Die Bedeutung des Pulses für den Blutstrom. Diese Zeitschrift Bd. 25 S. 474.

wenn plötzliche Aenderungen in der Spannung der Gefässwände, wie z. B. bei Unterbrechung der Herzthätigkeit oder Aderlass in benachbarten Gefässgebieten, den Widerstand gegen die fallende Quecksilbersäule plötzlich sehr vermindern.

Die Schwankungen der Quecksilbersäule haben verschiedene Untersucher durch Verengerung eines kurzen Stückes des mit Quecksilber gefüllten Manometers zu vermindern oder ganz aufzuheben gesucht.

Marey construirte sein Manometer compensateur[1]), von dem er sagt: «La colonne de l'instrument reste presque immobile entre les maxima et les minima des oscillations; elle en prend exactement la moyenne.»

Es mag sein, dass Marey's Apparat, welcher im Wesentlichen aus zwei mit einer Quecksilberflasche communicirenden, vertical gerichteten, einschenkligen Manometerröhren besteht, die gewünschten Bedingungen erfüllt. Hier schwingt die eine Quecksilbersäule frei, die andere communicirende enthält nahe ihrem unteren Ende eine dämpfende Verengerung; daher wird, entsprechend dem minderen Widerstande, im freien Manometer die Flüssigkeit höher steigen als durch die enge Oeffnung des gedämpften. Die Oscillationen bestehen also wesentlich zwischen Flasche und unverengtem Steigmanometerrohre — und zum geringen Theile im verengten.

Ganz anders verhält es sich, wenn, wie z. B. in Setschenow's Vorrichtung, ein verengender Hahn an der tiefsten Stelle des Poiseuille'schen U-Manometers einen Widerstand einschaltet oder, wie bei Marey's einfachem Manometer compensateur, ein eng capillares Rohrstück die Schwingungen vernichtet (a. a. O. p. 169, Fig. 3). In diesen Fällen hat die schwingende Hg-Säule keinen Nebenweg.

Beim systolischen Anpralle des Blutes vermittelst der Hg-Säule gegen die enge Durchtrittsöffnung wirkt ausser dem Drucke auch die Geschwindigkeit nach Art des Stosswidders. Der während der Diastole zurückfallende Theil der Quecksilbersäule kann durch die enge Oeffnung im Manometerrohre nur

1) Marey, Circulation du sang 1881, S. 170.

langsam zurückfliessen, wandelt also nicht Geschwindigkeit in Druck um. Daher wird die Mittelstellung höher bleiben, als dem Schwingungsmittel entspricht.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse, wenn, wie am isolirten Froschherzen, das Manometer mit dem schleudernden Muskel in unverzweigter Verbindung steht.

Viel complicirter sind die Vorgänge, wenn das Manometer in die Carotis endständig eingebunden ist: ohne Behinderung anderer Gefässverzweigungen; dann gibt die von dem Manometer angezeigte Druckschwankung nicht die gesammte Pulsenergie an, sondern einen Theil derselben, welcher mit wachsendem Widerstande in der Verzweigung zunehmen, mit vermindertem abnehmen wird. Es ist dabei keineswegs nothwendig, dass der gesammte Blutdruck im Aortensysteme sich ändere.

Kireeff[1]) zeigte, in wie verschiedenem Maasse eine Arteria cruralis sich zu verengern vermag — so dass sie, völlig durchschnitten, die Blutung durch Contraction hindert, während in der Carotis noch fast die Hälfte des anfänglichen Blutdruckes herrscht. »Durch die Widerstände seitens der durchströmten offenen Gefässe wird die Blutströmung nach den geschlossenen Gebieten hingeleitet; durch die Contraction anämischer Bezirke das centrale Gefässsystem, welches dem kleinen Kreislauf das Blut zuleitet, gefüllt erhalten.«

R. Magnus bemerkte schon[2]): »Die Neigung der Curven, bei peripher geschlossener Arterie eine sehr stark ausgeprägte erste Zacke und katakroten Charakter zu zeigen, während sie bei offener, wegsamer Carotis mehr zum anakroten Typus neigen, beruht offenbar darauf, dass bei ersterer Anordnung das systolisch in das Blutgefäss einströmende Blut, das durch den Verschluss in seiner Bewegung gehemmt wird, eine Stosswirkung auf die Arterienwand ausübt, die natürlich bei freiem Wege geringer ist.«

Nach den bisherigen Ausführungen wird es erklärlich erscheinen, weshalb wir der Berechnung des mittleren Druckes

1) Verhandlungen der physiol. Ges. zu Berlin. 20. Juli 1883. du Bois-Reymond's Archiv 1884, S. 163.

2) Diese Zeitschr. 1896, Bd. 15 S. 187.

das arithmetische Mittel zwischen Puls-Maximum und -Minimum zu Grunde legen.

Folgende zwei Tabellen geben eine kurze Uebersicht über die Druckangaben vom Kymographen und Tonographen, unter gleichen Verhältnissen: zuerst ohne Vagusreizung, sodann während durch Vagusreizung verlangsamter Pulsfolge.

Vergleich der mittleren Blutdruckwerthe (nebst Pulshöhen und Pulsfrequenz), die aus den Carotiden von vier Hunden (I, II, III, IV) gewonnen waren: mittels gleichzeitiger Registrirung durch Ludwig's und Hürthle's Tonographen.

Tabelle III.

Apparat	Pulshöhe mm				Mittlerer Blutdruck mm Hg				Pulsfrequenz pro 1 Min.			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Kymograph	8	4	58	12	108	124	135	150	168	144	204	60
Tonograph	110	30	80	14	136	140	144	140	168	144	204	60

Tabelle IV.

Apparat	Pulshöhe während Vagusreizung				Mittlere Drucke während Vagusreizung							
	I	II	III	IV	I		II		III		IV	
Kymograph	72	98	116	78	87	90	89	87	111	75	87	
Tonograph	189	130	150	150	137	115	134	121	140	132	137	

Man erkennt, dass der Tonograph einen bis zu 57 mm höheren mittleren Druck angibt als der Kymograph.

Nur in einem Falle ergab die Zeichnung des Tonographen einen um 10 mm niedrigeren Druck als der Kymograph. In diesem Falle waren aber die (s. oben S. 37, Fig. 20) wiedergegebenen Pulse absonderlich gestaltet: ohne Anfangsspitzen.

Auch während sehr frequenter Pulsation (nach Durchschneidung der Vagi) ergab sich der durch den Tonographen bestimmte mittlere Druck ziemlich gleich dem aus den Kymographschwingungen berechneten (Kymograph 151 mm, Tonograph 153 mm; Kymograph 173 mm, Tonograph 177 mm).

Den sichersten Vergleich zwischen den Angaben des Kymographen und des Tonographen ermöglicht aber der Druckabfall während des Herzstillstandes in Folge von Vagusreizung.

Die nachfolgenden zwei Facsimilia (Fig. 27) mögen als Beispiele dienen.

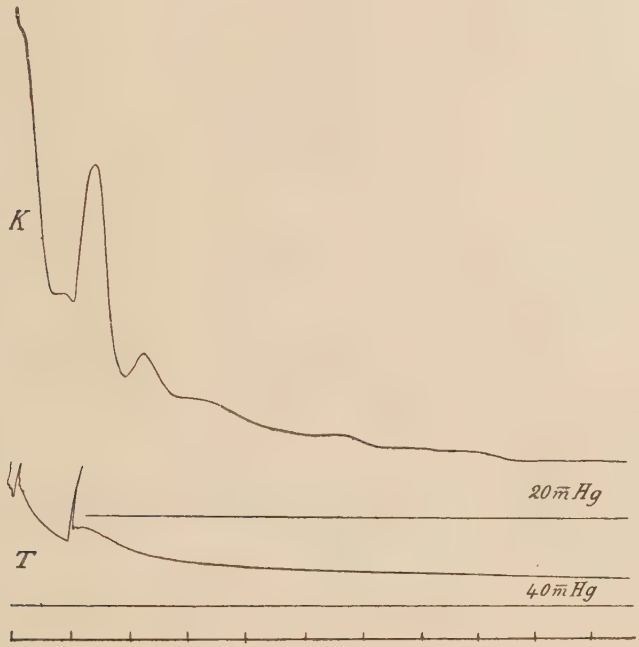


Fig. 27.

Vagusreizung. Die obere Linie hat der Kymograph verzeichnet. Er notirte vor Vagusreizung 171 mm Mitteldruck, während der Tonograph 172 mm verzeichnete. — 10 Secunden nach dem letzten Vaguspulse wird die sehr langsam sinkende Blutsäule vom Kymographen zu 20 mm Hg registrirt, vom Tonographen zu 40 mm Hg.

Da wir kein besseres Mittel besitzen, um den hydrostatischen Druck zu messen, als das Quecksilbermanometer, so ist kein Grund einzusehen, weshalb die Angaben der kaum bewegten Quecksilbersäule fehlerhaft sein sollten. Es fragt sich also nur, weshalb der Tonograph abweichende Grössen angibt? Wir kamen zu der Ueberzeugung, dass die Entleerung der Tonographenkapsel bei vermindertem Drucke unvollkommen wird. Schon

früher (S. 26) haben wir gezeigt, dass die Tonographenfeder nicht auf Null zurückkehrt, wenn man (in dem mit der Tonographenkapsel verbundenen Quecksilbermanometer) das Niveau des Quecksilbers im freien Schenkel auf den Null-Punkt einstellt.

Am bezeichneten Orte ist nachgewiesen, dass die Druckrückstände von der inneren Reibung der Flüssigkeiten in der Tonographenkapsel und den Ansatzröhren abhängen.

Jetzt haben wir die Aufgabe, die zeitlichen Verhältnisse des Abflusses zu untersuchen, um nach den Ruhezuständen auch die Bewegungszustände der Flüssigkeiten im Tonographen kennen zu lernen.

Hierzu diente uns der »elektromagnetische Ausflussmesser«, welchen die folgende schematische Zeichnung (Fig. 28) veranschaulicht.

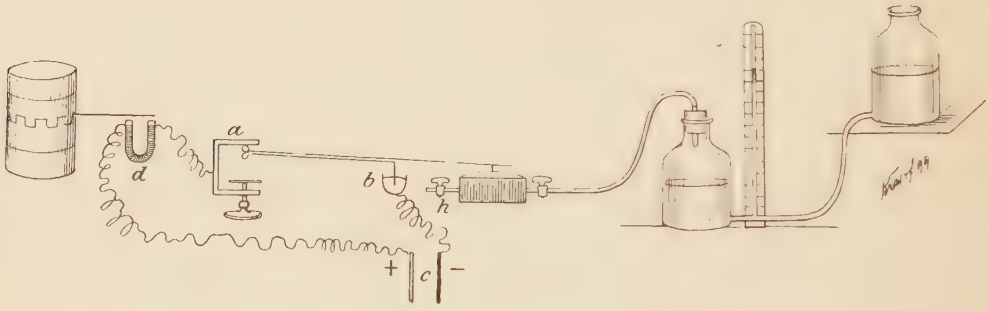


Fig. 28.

Er besteht im Wesentlichen aus einem □-förmigen Messingrahmen (*a*) von 20 mm Entfernung der Schenkel. Den unteren Schenkel durchsetzt eine Schraube, welche eine kupferne amalgamirte Platte trägt. Auch das obere Schenkelende ist verquickt. Längs dem Hebel des Tonographen ist ein Platindraht von einer Stelle unfern der Tonographenkapsel bis zur Schreibspitze gezogen. Dort endigt er in einer 8-förmigen Doppelschlinge. Andererseits mündet das Ende des Platindrahtes nahe der Tonographenkapsel tief in ein Quecksilbernäpfchen (*b*), das mit einem Pole vom Daniell'schen Elemente (*c*) verbunden ist. Diese Verbindung blieb also immer erhalten — ohne die Bewegung des Schreibhebels zu stören.

Der andere Pol war mit einem Markier-Elektromagneten (*d*) in leitende Verbindung gesetzt, dessen Spulenende an den Messinghahn (*a*) angeschlossen war.

Bei horizontaler (Null-Druck-) Stellung des Schreibhebels ruhte dessen endständige Drahtschlinge gerade noch auf der Schraubenplatte des Bügels und hielt den Magneten activ.

Die geringste Hebung der Tonographenfeder öffnete den Stromkreis und liess den Elektromagneten eine Oeffnungsmarke zeichnen. Sobald die Schreibfeder den oberen Schenkel des Bügels berührte, wurde der Stromkreis wieder geschlossen und die Magnetfeder zeichnete eine absteigende Marke auf den Kymographioncylinder. Der Bügel wurde so eingestellt, dass bei dem gewünschten Maximaldrucke die Contactschlinge gerade den oberen Schenkel berührte. Darauf wurde die untere Contactschraube derart regulirt, dass bei Null-Druck die untere Platinschleife am Schreibhebel die Schraubencontactplatte gerade noch berührte.

Mit dieser gut fungirenden Vorrichtung wurden die Zeiten bestimmt, welche die Tonographenfeder brauchte, um vom Maximum der Hebung (entsprechend 200 mm Hg) bis zu der 0-Druckstellung zu sinken.

In der folgenden Tabelle sind die gewonnenen Werthe zusammengestellt. Dort sind die Zeiten des Abströmens verschiedener Flüssigkeiten aus der Kapsel angegeben.

Der Abfluss geschah durch die 3 mm weite Bohrung des ins Freie mündenden Hahnes (*h*) von Hürthle's Federtonographen, der entweder ganz geöffnet (180°) oder um circa 30° von dieser Stellung gegen die Senkrechte gewendet (150°) war.

Wenn der Hahn noch weiter geschlossen wurde, so vermochte der Hebel nicht mehr bis zum unteren Contacte (Horizontalstellung in Höhe des Abscissenschreibhebels) zu fallen.

Folgende Tabelle gibt die Dauer des Abflusses verschiedener Flüssigkeiten aus der Tonographenkapsel, unter dem Anfangsdrucke von 200 mm Hg bis zum Drucke von nahezu 0 mm an.

Art der Flüssigkeit	Abflusszeit in Sec. bei Stellung des Hahnes	
	180°	150°
Aether	0,016″	0,030″
Wasser	0,022	0,083
Magnesiumsulfat (25%) . . .	0,034	0,107
Geschlagenes Kalbsblut . . .	0,045	0,119
Glycerin	0,067	0,197

Man sieht auf den ersten Blick, dass mit der inneren Reibung der Flüssigkeiten die Zeit ihres Durchflusses wächst. Zumal interessirten uns die Flussgeschwindigkeitswerthe concentrirter Magnesiumsulfatlösung (da diese bei Blutdruckversuchen zur Verhütung der Gerinnung angewendet wird) und des geschlagenen Blutes im Verhältniss zum Wasser[1]).

Bemerkenswerth ist es auch, dass, wie zu erwarten war, bei enger Ausflussöffnung die Differenzen in der Durchflussgeschwindigkeit bei verschiedenen Flüssigkeiten beträchtlicher waren[1]), als bei dem Ausfluss mit minderer Reibung: bei völlig geöffnetem Hahne. Als wesentliche Resultate dieser Untersuchung ergeben sich folgende Sätze:

1. Hürthle's Tonograph gibt ganz allmähliche Druckveränderungen: wie Abfall des Druckes bald nach dem Herzstillstande (während der Vagusreizung) zu hoch an, im Vergleiche mit dem die Drucke des ganz langsam abfliessenden Blutes exact messenden Quecksilbermanometer.

2. Der mittlere Druck während normaler Pulsschwankungen wird vom Tonographen höher angegeben als vom Kymographen.

3. Auch nach gemeinsamer Dämpfung der von beiden Apparaten gezeichneten Pulswellen bleibt der mittlere Druckwerth der tonographischen Daten höher als derjenige der kymographischen.

1) C. A. Ewald fand, dass »wenn der Transpirationscoëfficient des Wassers = 1 gesetzt wird, der des menschlichen Blutes = 0,41, der des Hundeblutes 0,27 ist, d. h. dass unter sonst gleichen Umständen (Druck, Temperatur, Länge und Weite des Rohres) das Menschenblut um weniger als die Hälfte des Hundeblutes, um drei Zehntheile langsamer als destillirtes Wasser strömt«. du Bois-Reymond's Arch. f. Physiol. 1877, S. 224.

4. Wenn man die in verschiedener Höhe abgesperrte Manometersäule plötzlich mit der pulsirenden Blutsäule verbindet (durch Hahnöffnung), so erfolgt der Ausschlag der Quecksilbersäule im gleichen Sinne wie derjenige des eingeschalteten Tonographen.

5. Der Tonograph entleert sich unvollkommen und träge unter schwachen Drucken seiner wenig gebogenen Stahlfeder, wegen der Reibungswiderstände der verdrängten Flüssigkeiten.

6. Aus dem ganz offenen, in die Luft mündenden Hahne entlässt die mit concentrirter Magnesiumsulfatlösung auf 200 mm Hg. gespannte Tonographenkapsel (von 0,08 ccm Inhalt) den Inhalt erst binnen 0,034 Secunden.

Die dreifache Zeit ist erforderlich, wenn der Hahn um 30^0 verstellt ist. (»Gedämpfter« Ausfluss.)

7. Der Kymograph fälscht durch Eigenschwingungen der Quecksilbersäule die Maasse der Blutdruckwerthe, wenn die Druckschwankungen im Gefässgebiete gross und selten sind.

8. Die Energie der manometrischen Stösse ist so bedeutend, dass Quecksilberverschiebungen vom Umfange eines normalen Hundepulses in einem sehr dickwandigen kurzen Kautschukschlauche 3 bis 4 Nachschwingungen zu erregen vermögen.

9. Frequente Pulse vernichten durch Interferenz die störenden Quecksilberschwankungen.

10. Das gedämpfte Quecksilbermanometer zeigt nicht wesentlich andere mittlere Drucke als das frei schwingende; dagegen gibt es schnelle Aenderungen des Druckes im Gefässsysteme verspätet wieder.

Historische Notiz.

Am 15. Mai habe ich die Experimente zu dieser Arbeit begonnen, deren Thema mir Herr Professor Kronecker am Ende des Wintersemesters 1897—98 gegeben hatte.

Am 1. August 1898 hat Herr Kronecker die wesentlichen Resultate meiner bis dahin ausgeführten Versuchsreihe der schweizerischen Naturforscher-Versammlung mitgetheilt, in deren Berichten eine kurze Notiz darüber veröffentlicht ist.

Am 22. und 23. August hat Herr Kronecker die von mir gewonnenen Kymogramme und Tonogramme dem Internationalen Physiologen-Congresse zu Cambridge vorgelegt.

Hiernach erst erhielten wir Kenntnis von einer in Pflüger's Archiv vom 19. September veröffentlichten Arbeit des Herrn Docenten Dr. Tschuewsky, betitelt: »Vergleichende Bestimmung der Angaben des Quecksilber- und des Federmanometers, in Bezug auf den mittleren Blutdruck.«

Diese Untersuchung ist im physiologischen Institute zu Breslau ausgeführt, also wohl auf Anregung und unter Leitung von dessen Director, Herrn Professor K. Hürthle.

Herr Tschuewsky fasst die Ergebnisse seiner Untersuchung in folgenden Sätzen zusammen:

»1. Zur Messung der mittleren Werthe des arteriellen Blutdruckes lässt sich sowohl das stark gedämpfte Quecksilbermanometer als das freischwingende Federmanometer verwenden; letzteres hat den Vorzug, dass es sämmtliche Schwankungen des Druckes genau registrirt, aber den Nachtheil, dass die Bestimmung des Mitteldruckes aus diesen Curven schwierig und umständlich ist, während sich aus den Curven des Quecksilbermanometers der Mitteldruck verhältnismässig rasch und leicht gewinnen lässt. Beide Vortheile erzielt man durch die in der vorhergehenden Abhandlung beschriebene Combination der beiden Instrumente«.

»2. Bei der Gewinnung des Mitteldruckes mit Hülfe eines elastischen Manometers spielt die Art der Aichung eine grosse Rolle; den wahren Werth erhält man bei Zugrundelegung der »dynamischen« Aichung«.

»3. In den Curven des gedämpften Quecksilbermanometers gibt nicht jeder beliebige Abschnitt den Mitteldruck an, sondern bei allen Schwankungen des Druckes — von den pulsatorischen abgesehen, — muss die ganze Periode der Schwankung zur Bestimmung des Mitteldruckes benützt werden. Der mittlere Druck während einzelner Abschnitte lässt sich nur mit Hülfe des Federmanometers ermitteln.« (Siehe S. 601—602).

Meine Resultate stimmen, wie sich aus meiner Arbeit ergibt, nur theilweise mit denjenigen des Herrn Tschuewsky überein.

Ganz ähnliche Ungenauigkeiten in den Angaben des Federmanometers wie Herr Tschuewsky habe ich bei statischer Aichung regelmässig gefunden (siehe oben S. 43).

Herr Tschuewsky gibt (S. 587) als Beispiel solcher Versuche eine Figur und eine Tabelle und bemerkt dazu: »Aicht man das Flachfeder- oder Torsionsmanometer mit Hülfe eines Quecksilbermanometers, indem man den Druck von 0 auf 200 mm Hg. sprungweise um 20 mm erhöht und die Ausschläge des Federmanometers auf dem Kymographen registrirt (aufsteigende Aichung) und darauf die Aichung in umgekehrter Richtung von 200 mm auf 0 wiederholt (absteigende Aichung), so sieht man, dass die entsprechenden Ordinaten der absteigenden Aichung sämmtlich grösser (soll wohl heissen »kleiner«?) sind, als die der aufsteigenden; diese ganz regelmässig wiederkehrende Erscheinung dürfte als »elastische Nachwirkung« aufzufassen sein« Ich habe gezeigt, dass Flüssigkeitsreibung den Rückstand verursacht.

Aus seiner Tabelle ergibt sich, dass gerade so wie in meinen Versuchen weder bei aufsteigender, noch bei absteigender Aichung gleiche Druckdifferenzen gleichen Höhenunterschieden entsprechen.

Die nach Tschuewsky's Angaben (Tabelle 1) berechneten Differenzen, entsprechend 20 mm Hg, schwanken zwischen den Werthen von 1,6 mm Ordinatenhöhe bis 3,4 mm. Auffallender Weise ist in Figur 1 die Null-Linie nur einfach vorhanden. In Tabelle III haben die 20 mm Hg. entsprechenden Zuwachse, für die Aichung von aufsteigenden Drucken zwischen 3,1—3,6 mm schwankende Werthe, für absteigende Aichung gleichfalls zwischen 3,0 und 3,6 mm.

Tabelle VIII (S. 596) ergab bei statischer Aichung Ab- und Zuwachswerthe für 20 mm Hg. zwischen den Grössen 2,5 und 3,6 veränderlich, für »dynamische Aichung« zwischen 2,7 mm und 3,6 schwankend. Tschuewsky findet, »dass die Uebereinstimmung zwischen Quecksilber- und Federmanometer mit der Art der Aichung wechselt; die beste Uebereinstimmung die dynamische Aichung liefert.« (S. 597.)

»Auffallend im Vergleich zu den Versuchen mit künstlicher Druckschwankung ist die absolute Grösse des Fehlers bei den Thierversuchen« — im Mittel + 5,4 mm Hg.; dagegen bei künstlichen Druckschwankungen + 0,85 mm« (bezogen auf die Werthe der aufsteigenden statischen Aichung).

Tschuewsky nimmt an, »die Ergebnisse der statischen Aichung werden um so unrichtiger, je höher der absolute Werth des Druckes ist, und da dieser kleiner ist (warum?) bei den künstlichen Druckschwankungen, als bei den Thierversuchen, so erklärt sich daraus der grössere Fehler der statischen Aichung bei den letzteren.« (S. 598.)

Er fand, dass z. B. »beim Druckwerth 100 mm Hg. die statische sich nur um 0,2 mm (bei der aufsteigenden Aichung) bezw. gar nicht (bei der absteigenden) von der dynamischen Aichung unterscheidet; beim Druckwerth 180 mm dagegen um 1,1 mm bezw. um 1,0 mm.«

Aus den folgenden Tabellen der Messreihen, welche ich zu dem Vergleiche mit den Tschuewsky'schen ausgearbeitet habe, ersieht man, dass mit den von Tschuewsky angeführten Beispielen meine entsprechenden Daten nicht stimmen.

Tabellen statischer und dynamischer Aichung:

Ordinaten des Federmanometers nach Tschuewsky.

Quecksilbermanometer	Statische Aichung				Dynamische Aichung			
	Aufsteigend mm	Zuwachs für 20 mm	Absteigend mm	Zuwachs für 20 mm	Aufsteigend mm	Zuwachs für 20 mm	Absteigend mm	Zuwachs für 20 mm
0	0	3,1	0	3,3	0	3,2	0	3,3
20	3,1	3,4	3,3	3,6	3,2	3,4	3,3	3,6
40	6,5	3,3	6,9	3,3	6,6	3,4	6,9	3,3
60	9,8	3,4	10,2	3,4	10,0	3,2	10,2	3,4
80	13,2	3,1	13,6	3,2	13,2	3,3	13,6	3,2
100	16,3	3,0	16,8	3,3	16,5	3,3	16,8	3,4
120	19,3	2,9	20,1	2,9	19,8	3,3	20,2	3,3
140	22,2	3,0	23,0	2,9	23,1	3,0	23,5	3,1
160	25,2	3,0	25,9	2,6	26,1	3,2	26,6	2,9
180	28,2	2,8	28,5	2,5	29,3	2,9	29,5	2,7
200	31,0 ↓		↑ 31,0	—	32,2 ↓	—	↑ 32,2	—

Ich fand bei 100 mm Druck den Werth der statischen Aichung 8,68 mm, bei der dynamischen 8,96 mm; als Differenz demnach 0,26 mm. Beim Druckwerthe, 180 mm, fand ich die entsprechenden Werthe 15,63 und 15,95 mm; demnach unterschieden sich die Werthe bei mir um 0,6 mm, bei Tschuewsky dagegen um 0,8—0,9 mm.

Ordinaten des Federmanometers nach Schilina.

Quecksilber-manometer	Statische Aichung				Dynamische Aichung			
	Aufsteigend b. Druckzunahme	Zuwachs für 20 mm Drucksteigerg. mm	Absteigend b. Druckminderung	Abnahme d. Druckes für je 20 mm	Aufsteigend b. Druckzunahme	Zuwachs für 20 mm Drucksteigerg. mm	Absteigend bei Druckminderung	Abnahme des Druckes für je 20 mm
0	0		0,58		0		0,09	
20	1,50	1,50	2,26	1,68	1,65	1,65	1,71	1,62
40	3,46	1,96	3,86	1,60	3,61	1,96	3,60	1,89
60	5,23	1,77	5,49	1,62	5,44	1,83	5,42	1,82
80	6,95	1,72	7,29	1,74	7,28	1,84	7,28	1,86
100	8,68	1,73	9,12	1,77	8,96	1,68	9,10	1,82
120	10,43	1,75	10,75	1,63	10,81	1,85	10,80	1,70
140	12,23	1,80	12,44	1,69	12,53	1,72	12,40	1,60
160	13,90	1,67	14,04	1,60	14,34	1,81	14,24	1,84
180	15,63	1,73	15,76	1,70	15,95	1,61	15,97	1,73
200	↓ 17,40	1,77	↑ 17,40	1,66	↓ 17,56	1,61	↑ 17,56	1,59

Verhältniss der Zuwachse in den Ausschlägen bei Aichung des Federmanometers während aufsteigenden und absteigenden Druckes. Berechnung auf Grund der zwei vorstehenden Tabellen.

Quecksilber-Manometer	Statische Aichung		Dynamische Aichung	
	nach Tschuewsky	nach Schilina	nach Tschuewsky	nach Schilina
0— 20	1,06	1,13	1,03	0,98
20— 40	1,05	0,90	1,05	0,95
40— 60	1,00	0,92	0,97	0,99
60— 80	1,00	1,04	1,05	1,00
80—100	1,03	1,05	0,97	1,08
100—120	1,10	0,93	1,03	0,91
120—140	1,00	0,93	1,00	0,93
140—160	0,96	0,95	1,03	1,01
160—180	0,86	0,98	0,90	1,07
180—200	0,89	0,93	0,93	0,98

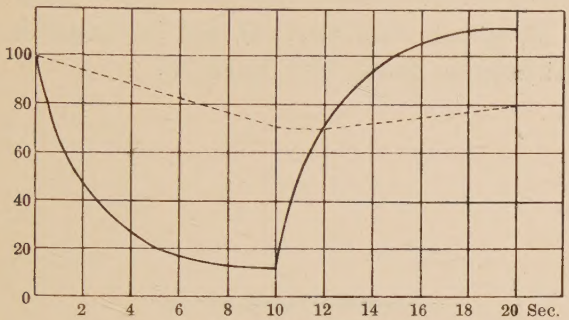
Bei Registrirung künstlicher wie normaler Druckschwankungen durch das Quecksilbermanometer hatte Tschuewsky dieses soweit gedämpft, dass die einzelnen Pulse die Grösse von weniger als 1 mm resp. 0,5 mm hatten. Das Federmanometer war so wenig gedämpft, dass es die secundären Wellen der Pulscurve zeichnete (siehe Ss. 592 und 595.)

»Dabei sieht man zunächst, dass das stark compensirte Quecksilbermanometer lange Zeit braucht, bis es sich auf den mittleren Werth des Druckes einstellt, während das nicht oder schwach gedämpfte Federmanometer den Schwankungen von Anfang an folgt.«

Diese ungleiche Behandlung der beiden Manometer, welche noch verständlich ist unter der Voraussetzung, dass die oscillirende Quecksilbermasse die Druckangaben fälsche, ist aber unverständlich bei dem relativ langsamen Sinken der Quecksilbersäule während des Herzstillstandes durch Vagusreizung. Tschuewsky sagt darüber: »a) Während der Erregung des Vagus folgt das durch die Dämpfung träge gemachte Quecksilbermanometer dem plötzlichen Druckabfall, welcher durch das Federmanometer angezeigt wird, sehr langsam und unvollständig, so dass der Mittelwerth des Druckes in diesem Stadium beim Quecksilbermanometer sehr viel grösser ausfällt als beim Federmanometer. b) Nach dem Aufhören der Vagusreizung dagegen zeigen die beiden Manometer das umgekehrte Verhalten; das Federmanometer lässt die Rückkehr des Druckes zur früheren Höhe nach wenigen Pulsschlägen erkennen, das Quecksilbermanometer bleibt lange Zeit hinter dem wirklichen Werth des Druckes zurück und erreichte ihn im vorliegenden Falle erst 30 Secunden nach dem Ende der Reizung.« (S. 600.)

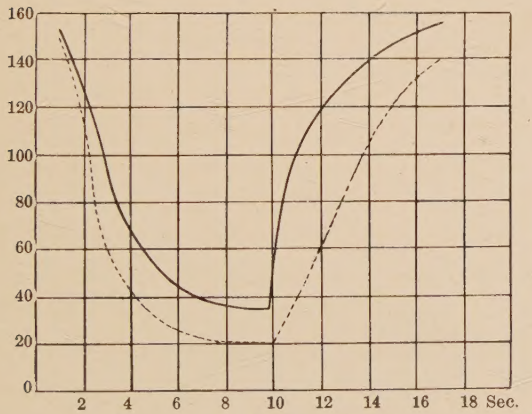
Hieran anschliessend macht er die seltsame Bemerkung: »die beiden Manometer weichen also in den beiden Stadien der Druckänderung erheblich von einander ab, und es ist keine Frage, dass in diesem Falle nur das Federmanometer die richtigen Angaben macht.«

Warum sollte durch die stark verengte Oeffnung zum Quecksilbermanometer der Zufluss wie Abfluss von Seiten des Blutgefässsystems nicht sehr verzögert sein? Der stark »gedämpfte« Tonograph würde die gleiche Stromverzögerung geben.



Nach Tschuewsky.

Fig. 29.



Nach Schilina.

Fig. 30.

Abfall des Blutdruckes bei Vagusreizung gleichzeitig vom

– – – – – Kymograph
——— Tonograph
} gezeichnet.

Ich setze hier darüber die graphische Darstellung der Druckangaben durch den Kymographen und den Tonographen nach

Tschuewsky und darunter ein gleichartig ausgearbeitetes Diagramm, das von einem meiner drei ähnlichen Versuche stammt. (S. Figg. 29 und 30, S. 55.)

Zum Schlusse erlaube ich mir, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. H. Kronecker, für die Anregung zu dieser Arbeit und die gütige Unterstützung bei Anfertigung derselben meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.